

Kotimaista kalaa ravinnoksi monipuolisemmin ja turvallisemmin

EU-kalat IV

Johanna Suomi, Panu Rantakokko, Riikka Airaksinen, Jari Raitaniemi,
Ville Junntila, Antti Mikkilä, Liisa Uusitalo, Heidi Leskinen, Juha-Matti Pihlava,
Janne Järvinen, Taina Jalava, Eva Kumar, Jani Koponen, Jukka Ruuhijärvi,
Katja Kulo, Velimatti Leinonen, Päivi Ruokojärvi, Sari Mäkinen, Tapio Keskinen,
Jarkko Lampuoti, Annikki Welling, Pirkko Tuominen

VALTIONEUVOSTON SELVITYS- JA
TUTKIMUSTOIMINNAN JULKAISUSARJA 2024:29

tietokayttoon.fi

Kotimaista kalaa ravinnoksi monipuolisemmin ja turvallisemmin

EU-kalat IV

Johanna Suomi, Panu Rantakokko, Riikka Airaksinen,
Jari Raitaniemi, Ville Junntila, Antti Mikkela, Liisa Uusitalo,
Heidi Leskinen, Juha-Matti Pihlava, Janne Jarvinen,
Taina Jalava, Eva Kumar, Jani Koponen, Jukka Ruuhijarvi,
Katja Kulo, Velimatti Leinonen, Paivi Ruokojarvi,
Sari Makinen, Tapio Keskinen, Jarkko Lampuoti,
Annikki Welling, Pirkko Tuominen

Julkaisujen jakelu

Distribution av publikationer

**Valtioneuvoston
julkaisuarkisto Valto**

Publikations-
arkivet Valto

julkaisut.valtioneuvosto.fi

Valtioneuvoston kanslia

CC BY-ND 4.0

ISBN pdf: 978-952-383-312-8

ISSN pdf: 2342-6799

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2024

Kotimaista kalaa ravinnoksi monipuolisemmin ja turvallisemmin EU-kalat IV

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2024:29

Julkaisija	Valtioneuvoston kanslia		
Tekijä/t	Johanna Suomi, Panu Rantakokko, Riikka Airaksinen, Jari Raitaniemi, Ville Junntila, Antti Mikkela, Liisa Uusitalo, Heidi Leskinen, Juha-Matti Pihlava, Janne Jarvinen, Taina Jalava, Eva Kumar, Jani Koponen, Jukka Ruuhijarvi, Katja Kulo, Velimatti Leinonen, Päivi Ruokojarvi, Sari Makinen, Tapio Keskinen, Jarkko Lampuuti, Annikki Welling, Pirkko Tuominen		
Kieli	suomi	Sivumäärä	138
Tiivistelmä	<p>Kala on tärkeä osa ravitsemusta ja hyvinvointia. Suomalaisen luonnonkalan käytön haasteena ovat joihinkin lajeihin suurempina pitoisuuksina kertyvät vierasaineet, jotka ovat osin rajoittaneet kalan hyödynnettävyyttä elintarvike- ja rehumarkkinoilla sekä heikentäneet arviota meriympäristön tilasta. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli hankkia lisää tietoa kalaan kertyvien ravinto- ja vierasaineiden pitoisuuksista kotimaisissa kalalajeissa, jotka ovat kaupallisesti merkittäviä tai joiden käyttöä pyritään lisäämään Kotimaisen kalan edistämisohjelman mukaisesti. Tavoitteena oli myös tuottaa tietoa kalan käyttösuositusten päivittämiseksi.</p> <p>Vierasaineiden pitoisuudet suomalaisessa kalassa olivat enimmäkseen alle EU:n asettamien enimmäismäärien. Tärkein yksittäinen poikkeus on Saaristo- ja Selkämeren silakan PFAS-yhdisteet, joiden kohoamassa olevat pitoisuudet edellyttävät hallinnollisia ja tutkimuksellisia jatkotoimia.</p> <p>Kalan käytön terveyshyödyt ylittävät vierasaineiden saantiin liittyvät haitat kaikissa ikäryhmissä. Kalan käytön lisääminen ravitsemussuosituksen mukaisesti olisi väestön terveydelle eduksi. Lasten sekä odottavien tai imettävien äitien olisi hyödyllistä suunnata kalankäyttöä Ruokaviraston ohjeiden avulla niiden kalastusalueiden ja lajien kaloihin, joissa vierasaineita on vähiten. Suurimmat terveyshyödyt kalan käytöstä koituvat keski-ikäisille ja sitä vanhemmille.</p> <p><i>Julkaisu on läpikäynyt ulkopuolisen tieteellisen arvioinnin.</i></p>		
Klausuuli	Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa.(tietokayttoon.fi) Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.		
Asiasanat	tutkimus, tutkimustoiminta, elintarviketurvallisuus, kalatalous, riskinarviointi, dioksiinit, perfluoratut alkyylilaineet, raskasmetallit, ympäristön tila, ravintoaineet		
ISBN PDF	978-952-383-312-8	ISSN PDF	2342-6799
Julkaisun osoite	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-312-8		

Inhemsk fisk som föda på ett mer mångsidigt och säkert sätt EU-fiskar IV

Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 2024:29

Utgivare	Statsrådets kansli		
Författare	Johanna Suomi, Panu Rantakokko, Riikka Airaksinen, Jari Raitaniemi, Ville Junttila, Antti Mikkilä, Liisa Uusitalo, Heidi Leskinen, Juha-Matti Pihlava, Janne Järvinen, Taina Jalava, Eva Kumar, Jani Koponen, Jukka Ruuhijärvi, Katja Kulo, Velimatti Leinonen, Päivi Ruokojärvi, Sari Mäkinen, Tapio Keskinen, Jarkko Lampuoti, Annikki Welling, Pirkko Tuominen		
Språk	finska	Sidantal	138
Referat	<p>Fisk utgör en viktig del av vår näring och vårt välbefinnande, trots de utmaningar som utgörs av de främmande ämnen som ackumuleras i en del vilda arter. Detta har begränsat nyttjandet av fisk som livsmedel och foder, samt lett till en sämre utvärdering av havsmiljöns tillstånd. Syftet med denna studie var att öka information gällande näringsvärdet i de kommersiellt viktiga arterna vars konsumtion borde ökas enligt programmet för främjande av inhemsk fisk, men också bedöma nivån av främmande ämnen som ackumuleras i dem. Målet var också att få mer information för revidering av rekommendationerna gällande användningen av fisk.</p> <p>Halterna av främmande ämnen i finsk fisk låg mestadels under de av EU fastställda maximivärdena. Det enskilt viktigaste undantaget är de stigande halterna av PFAS-föreningar i strömming fångad i Skärgårds- och Bottenhavet som kräver ytterligare forskning samt administrativa åtgärder.</p> <p>I alla åldersgrupper uppväger hälsofördelarna med att äta fisk de nackdelar som är förknippade med intag av föroreningar i fisken. Barn, gravida och ammande mödrar bör koncentrera sitt intag av fisk i enlighet med Livsmedelsverkets rekommendationer till arter fångade i områden med de minsta halterna av främmande ämnen. Ett ökat fiskintag i enlighet med rekommendationerna anses gynna hälsan. De största hälsofördelarna med att äta fisk tillfaller personer i medelåldern eller äldre.</p> <p><i>Publikationen har genomgått en extern vetenskaplig utvärdering.</i></p>		
Klausul	Den här publikation är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan.(tietokayttoon.fi) De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt.		
Nyckelord	forskning, forskningsverksamhet, livsmedelssäkerhet, fiskeri, riskbedömning, dioxiner, PFAS, tungmetaller, miljöns tillstånd, näringsämnen		
ISBN PDF	978-952-383-312-8	ISSN PDF	2342-6799
URN-adress	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-312-8		

Domestic fish for more versatile and safer consumption EU-fish IV

Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2024:29

Publisher Prime Minister's Office

Author(s) Johanna Suomi, Panu Rantakokko, Riikka Airaksinen, Jari Raitaniemi, Ville Junttila, Antti Mikkilä, Liisa Uusitalo, Heidi Leskinen, Juha-Matti Pihlava, Janne Järvinen, Taina Jalava, Eva Kumar, Jani Koponen, Jukka Ruuhijärvi, Katja Kulo, Velimatti Leinonen, Päivi Ruokojärvi, Sari Mäkinen, Tapio Keskinen, Jarkko Lampuoti, Annikki Welling, Pirkko Tuominen

Language Finnish **Pages** 138

Abstract Fish is an important part of nutrition and well-being. The challenge of Finnish wild fish is contaminants which accumulate in some species in higher concentrations, partially limit the usability of the fish in the food/feed market and weaken the assessment of the state of the marine environment. The aim of this study was to obtain data on the amounts of nutrients and contaminants in domestic fish species that are commercially important or should be increased in use according to national plans. The aim was also to produce information for updating the fish use recommendations.

The concentrations of contaminants in Finnish fish were mostly below the maximum levels set by the EU. The single most important exception is the PFAS compounds of Baltic herring in the Archipelago Sea and the Bothnian Sea, whose rising concentrations require further administrative and research measures.

The health benefits of fish consumption outweigh the harms of contaminants in all age groups. Increasing the consumption of fish in accordance with nutritional recommendations would benefit the health of the population. It would be useful for children and expectant or breastfeeding mothers to direct their fish consumption, with the help of Finnish Food Authority's instructions, to fishing areas and fish species with the lowest amounts of contaminants. The biggest health benefits of eating fish occur to middle-aged and older people."

This publication has undergone an external scientific review.

Provision This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research. (tietokayttoon.fi) The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.

Keywords research, research activities, food safety, fishery, risk assessment, dioxins, PFAS, heavy metals, state of the environment, nutrients

ISBN PDF 978-952-383-312-8 **ISSN PDF** 2342-6799

URN-address <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-312-8>

Sisältö

Sanasto	10
1 Johdanto	13
1.1 Hankkeen tausta	13
1.1.1 EFSA:n dioksiineja, PFAS-yhdisteitä ja elohopeaa koskevat riskinarvioinnit.....	14
1.1.2 EU-kalat IV -hanke verrattuna aikaisempiin EU-kalat - hankkeisiin.....	16
1.1.3 Suomen merialueiden ja sisävesien ympäristön tilan sekä kalakantojen seuranta ja arviointi	17
1.2 Hankkeen tavoitteet	21
1.2.1 Suomen merialueiden ja sisävesien kalojen sekä kalan arvoketjun tuotteiden vierasaineiden, D-vitamiinin sekä rasvahappojen pitoisuuksien määrittäminen.....	21
1.2.2 Suomen merialueiden ja sisävesien ympäristön tilan seuranta ja arviointi	21
1.2.3 Kalan turvallisen käytön ohjeiden tarkastaminen	22
1.2.4 Kalojen ja kalatuotteiden käytön riskien ja hyötyjen vertailu.....	22
1.2.5 Viestintä hyödyttää viranomaisia, toimijoita ja kansalaisia, ja hankkeen tuloksia hyödynnetään tulevien tutkimusten ja viranomaistyön aineistoina	23
2 Aineisto ja menetelmät	24
2.1 Näytteet kaloista ja kalatuotteista	24
2.1.1 Näytteenotto	24
2.1.2 Esikäsittely.....	28
2.1.3 Laboratorioanalyysit	30
2.1.4 Työssä lisäksi käytetyt aineistot	31
2.2 Suomalaisen ruoankäyttö.....	33
2.2.1 FinRavinto 2017	33
2.2.2 Tulevaisuuden kalankäytön skenaarit	34
2.3 Riskinarvioinnin menetelmät	36
2.3.1 Riskinarvioinnin taustatiedot.....	36
2.3.1.1 Toksikologiset vertailuarvot.....	36
2.3.1.2 Pitoisuustietojen painotus altistuksen arvioinnissa	38

2.3.1.3	Tausta-altistus muusta ruokavaliosta	39
2.3.1.4	Biomonitorointitulokset suomalaisten verestä	41
2.3.1.5	Riski-hyötyarvion käyttämät tiedot	42
2.3.2	Riskinarvioinnin mallit	43
2.3.2.1	Riski-hyötyarvion syötteenä käytetyn altistuksen laskenta	43
2.3.2.2	Kulutusskenaarioissa ja turvallisten käyttömäärien laskennassa käytetty malli	43
2.3.2.3	Riski-hyötyarvio	44

3 Tulokset 46

3.1	Pitoisuudet	46
3.1.1	Dioksiinit, PCB-yhdisteet, PBDE-yhdisteet, HBCD ja PFAS-yhdisteet	46
3.1.1.1	Pitoisuuksien muutos Itämerellä 2002–2023	46
3.1.1.2	Pitoisuuksien muutos ja kokoluokittainen tarkastelu silakalla 2002–2023	50
3.1.1.3	Pituuden ja kuntokertoimen vaikutus silakan pitoisuuksiin	52
3.1.1.4	Alueelliset erot merialueilla ja sisävesialueilla kalalajeittain	54
3.1.1.5	Kalatuotteet	58
3.1.1.6	Kasvatettu kala	59
3.1.2	Elohopea ja epäorgaaninen arseeni	60
3.1.2.1	Elohopea ja metyylielohopea	60
3.1.2.2	Epäorgaaninen arseeni	63
3.1.3	D-vitamiini ja rasvahapot	64
3.2	Suomen merialueiden ja sisävesien ympäristön tila	75
3.3	Altistuksen arviointi sekä kalankäytön riskien ja hyötyjen vertailu	86
3.3.1	Suomalaisten altistus nykykulutuksella	86
3.3.2	Altistusmäärien muutos eri skenaarioissa	90
3.3.3	Riski-hyötyarvio kalan käytöstä	91
3.3.3.1	Kooste aiemmista tuloksista	91
3.3.3.2	Nyt tehty arvio	92
3.3.4	Epäorgaanisen arseenin tautitaakka ja merkitys edellä esitetyle riski-hyötyarviolle	98
3.4	Eri kalalajien turvallinen käyttö riskiryhmään kuuluville	100

4	Johtopäätökset.....	104
4.1	Pitoisuudet ja niiden trendit	104
4.2	Terveysvaikutukset nykykulutuksella: altistuksen arviointi ja riski-hyötyarvio	106
4.3	Kalankäyttöön liittyvät johtopäätökset	107
4.4	Kalankäytön skenaarioiden mahdollinen vaikutus.....	108
5	Yhteenveto johtopäätöksistä ja suositukset	109
	Liitteet.....	111
	Liite 1. Näytteenotto ja näytekohtaiset tulokset.....	112
	Liite 2. Menetelmien yksityiskohdat.....	119
	Liite 3. Kalalajien kulutus eri skenaarioissa.....	123
	Liite 4. Altistuksen arviointi ja riski-hyötyanalyysi.....	130
	Lähteet.....	134

HYVÄ LUKIJA,

Ensimmäinen EU-kalat tutkimushanke toteutettiin jo yli 20 vuotta sitten ja käsillä oleva loppuraportti on hankesarjan neljäs. Säännöllisesti toistettaviin mittauksiin perustuvilla aikasarjoilla voidaan osoittaa, miten vierasaineiden pitoisuudet kaloissa ovat muuttuneet. Esimerkiksi silakan dioksiinien osalta vähenevä kehitys on ollut varsin hyvä. Hanke hankkeelta mukaan on otettu lisää tutkittavia aineita sekä laajemmin myös vaajaasti hyödynnettyjä kalalajeja. Haitallisten aineiden lisäksi kaloista haluttiin tutkia ravitsemuksen kannalta edullisia puolia. Tässä hankkeessa tehtiinkin myös riski-hyöty-arvio kalan käytöstä.

Tutkimushankeen tavoitteena oli tuottaa tietoa kotimaisen kalan vierasainepitoisuuksista ja kalan käytön hyödyistä terveydelle sekä meri- ja sisävesiympäristön tilasta ja kalakannoista. Pitoisuustietoja tuotettiin kalan ja kalatuotteiden sisältämistä lukuisten vierasaineiden sekä D-vitamiinin ja eräiden rasvahappojen määristä. Lisäksi hankkeessa tarkasteltiin kalan turvallisen käytön ohjeiden ajantasaisuutta. Kuten mittava raportti osoittaa, tavoitteet saavutettiin kattavasti. Tutkittu ajankohtainen tieto kotimaisten kalojen pitoisuuksista on edellytys sille, että ne voidaan huomioida, kun Euroopan Unionin elintarvike- ja rehulainsäädännössä asetetaan raja-arvoja. Kotimaisen kalan ja kalatuotteiden turvallisuus ja laatu ovat myös edellytyksiä Kotimaisen kalan edistämishjelman tavoitteiden toteutumiselle.

Lämmin kiitos Ruokaviraston, Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen, Luonnonvarakeskuksen ja Suomen ympäristökeskuksen asiantuntijoille hyvästä yhteistyöstä hankkeessa aina näytteenotosta ja määrittämisestä tulosten tarkasteluun ja tiedon jakamiseen. Kiitos myös hankkeen keskustelevalle ohjausryhmälle, jossa jäsenenä olivat Juhani Gustafsson (YM), Timo Halonen (MMM), Mika Honkanen (TEM), Hanna Korhonen (STM) ja Elina Pahkala (MMM). Ulkopuolisten arvioijien huolellinen tarkastelu paransi edelleen loppuraportin tieteellistä laatua.

Eeva Saarisalo
Ohjausryhmän puheenjohtaja
Maa- ja metsätalousministeriö

Sanasto

Lyhenne	Merkitys
µg	Mikrogramma, 1×10^{-6} g, miljoonasosa grammasta
AAS	Atomiabsorptiospektroskopia
AI	Riittävä saanti (adequate intake)
As	Arseeni
BMDL	Benchmark dose level, vastaa annosta, joka saa haittavaikutuksen riskin kasvamaan ennalta sovitun ja alaindeksinä ilmoitettavan määrän väestön perustasosta, esim. BMDL ₀₁ -arvo on annos, joka saa väestöllä tietyn riskin yhden prosentin suuremmaksi kuin siinä osassa väestöstä, jolla altistus on tätä annosta pienempi
DALY	Haittapainotettu elinvuosi (disability adjusted life year); tautitaakan yksikkö; mittaa eri sairauksien ja riskitekijöiden merkitystä koko väestölle aiheutuvan haitan kannalta eli ennenaikaisten kuolemien takia menetetyt elinvuodet ja sairauden takia vajaakuntoisena eletyt elinvuodet
EFSA	Euroopan elintarviketurvallisuusvirasto
EPA+DHA	Eikosapentaeenihapon (eicosapentaenoic acid, EPA) ja dokosaheksaeenihapon (docosahexaenoic acid, DHA) summa. Aineet ovat omega-3-rasvahappoihin kuuluvia pitkäketjuisia monitydyttymättömiä rasvahappoja
HBCD	Heksabromosyklododekaani
Hg	Elohopea
iAs	Epäorgaaninen arseeni
kg rp	Kilogrammaa ruumiin painokiloa kohti
LB	Lower bound -skenaario, eli määrittämissä alle olevat tulokset lasketaan nolliina
LOAEL	Alin haittavaikutuksen aiheuttava annos (lowest observed adverse effect level) eläinkokeissa.
MeHg	Metyylielohopea

Lyhenne	Merkitys
ML	Enimmäismäärä (maximum level), Komission asetuksessa (EU) 2023/915 määritelty suurin sallittu vierasaineen pitoisuus eri elintarvikkeissa
MoE	Altistusmarginaali (margin of exposure) eli toksikologisen vertailuarvon kuten BMDL ja altistuksen suhde kemiallisille aineille, joille ei ole määritetty turvallisen saannin enimmäismäärää kuten TWI. Jos MoE on suurempi kuin tietty aineen terveysvaikutusten vakavuudesta ja toksikologisen tiedon laadusta riippuva arvo, terveyshaitan riski on mitätön.
MoET	Usean aineen summan altistusmarginaali. Lasketaan käänteislukuna ainekohtaisten MoE-arvojen käänteislukujen summasta.
ng	Nanogramma, 1×10^{-9} g
NOAEL	Haittavaikutusta aiheuttamaton annos (no observed adverse effect level) eläinkokeissa
P50	Mediaani, keskimäinen arvo suuruuden mukaan järjestetyssä lukujoukossa
P95	95. prosenttipiste eli arvo, jonka ylittää jakaumassa vain 5 % arvoista
PBDE	Polybromatut difenyylietterit
PCB	Polyklooratut bifenyylit
PCDD/F	Polyklooratut dioksiinit ja -furaanit
PFAS	Per- ja polyfluoratut alkylylihdisteet
PFAS4	Summa PFAS-yhdisteistä PFOS, PFOA, PFNA ja PFHxS
pg	Pikogramma, 1×10^{-12} g
POP-yhdisteet	Pysyvät orgaaniset yhdisteet
Tautitaakka	Kokonaishaitta, jonka sairaudet ja ennenaikaiseen kuolemaan tai invalideettiin johtavat tekijät aiheuttavat
TDI	Siedettävän päiväsaannin enimmäismäärä (tolerable daily intake)
TEF	Yksittäisille dioksiineille ja dioksiinin kaltaisille PCB-yhdisteille käytetty toksinen ekvivalentti kerroin (toxic equivalency factor), jonka avulla lasketaan dioksiiniseoksen kokonaispitoisuus. Tässä tutkimuksessa käytettiin WHO:n vuonna 2005 määrittämiä TEF-kertoimia

Lyhenne	Merkitys
TEQ	Myrkyllisyysyksikkö, jota käytetään dioksiiniseoksen kokonaisvaikutuksen kuvaamiseen (toxic equivalency quantity)
tp	Tuorepaino
TWI	Siedettävän viikkosaannin enimmäismäärä (tolerable weekly intake)
UB	Upper bound -skenaario, eli määritysrajan alle olevat tulokset lasketaan määritysrajan suuruisina
UL	Enimmäissaanti (vitamiineilla), (tolerable upper intake level)
Vierasaine	Aine, jota ei ole tarkoituksella lisätty elintarvikkeeseen, mutta jota siinä kuitenkin esiintyy mainitun elintarvikkeen alkutuotannon ja teollisen tuotannon, jalostuksen, valmistuksen, käsittelyn, pakkaamisen, kuljetuksen tai varastoinnin seurauksena tai ympäristön saastumisen vuoksi. Ulkopuoliset aineet, kuten hyönteisten jäänteet ja eläinten karvat eivät sisälly määritelmään.
vrk	Vuorokausi

1 Johdanto

1.1 Hankkeen tausta

Hanke ”Kotimaista kalaa ravinnoksi monipuolisemmin ja turvallisemmin (EU-kalat IV)” jatkaa jo vuonna 2002 alkanutta EU-kalat -hankkeiden sarjaa (Hallikainen ym. 2004; Venäläinen ym. 2004; Hallikainen ym. 2011; Airaksinen ym. 2018). Sarjan jokainen hanke on vastannut EU:n dioksiineja ja dioksiinien kaltaisia PCB-yhdisteitä koskevan elintarvikelainsäädännön tietotarpeisiin, vaikka muukin tietosisältö on kasvanut kerta kerralta EU:n seurantasuosituksen ja -velvoitteiden laajentuessa. Orgaanisten haitta-aineiden lisäksi useimmissa EU-kalat hankkeissa on mitattu myös vaihteleva määrä ”klassisia” raskasmetalleja, joille on asetettu lainsäädännölliset enimmäismäärät tai joilla riskinarvioinnin perusteella voidaan epäillä olevan terveydellistä haittaa.

EU:n elintarvikkeiden dioksiinilainsäädäntö syntyi reaktiona Belgian 1999 dioksiinikriisiin (Bernard ym. 2002), jonka jälkimainingeissa Euroopan komissio pyysi elintarvikkealan tiedekomitealta (SCF) mielipidettä elintarvikkeiden dioksiini- ja PCB-yhdisteiden enimmäismäärien osalta. Toukokuussa 2001 SFC hyväksyi dioksiinien ja dioksiinin kaltaisten PCB-yhdisteiden siedettävän viikkosaannin (TWI) 14 pg TEQ henkilön painokiloa kohti (kg rp) (SFC 2001). Pian sen jälkeen EU:ssa vahvistettiin dioksiinien enimmäismäärä 4 pg TEQ/g tuorepainoa (tp) kohti laskettuna kalan lihassa ja kalatuotteissa (EY N:o 2375/2001). Tuolloin kalan PCB-yhdisteille ei vielä asetettu enimmäismääriä puutteellisten esiintymistietojen vuoksi. Kun tietoa oli kertynyt tarpeeksi, vuonna 2006 EU-lainsäädäntöön lisättiin enimmäismäärä 8 pg TEQ/g tp kalan dioksiinien ja dioksiinin kaltaisten PCB-yhdisteiden summalle (EY N:o 1881/2006). Lisäksi Suomelle ja Ruotsille myönnettiin kalankäytön terveyshyötyihin perustuva tilapäinen poikkeus vuoden 2011 loppuun asti. Se sallii tiettyjen Itämerestä peräisin olevien dioksiinien ja PCB:n enimmäismäärien ylittävien Itämeren kalalajien kotimaan markkinoille saattamisen. Silakan osalta poikkeus koski yli 17 cm:n pituisia kaloja (EY N:o 1881/2006). Viranomaiset olivat kuitenkin velvollisia informoimaan kuluttajia enimmäisrajan ylittävien tuotteiden osalta, eli asettamaan syöntisuosituksia. Lisäksi Suomi ryhtyi toimiin, joilla estetään dioksiinipitoisuuden enimmäismäärän ylittävien kalatuotteiden vienti muihin EU-maihin. Silakka ja kilohaili muodostavat suurimman osan Suomen kalasaaliista. Vuonna 2022 Suomen silakkasaaliista 4 % myytiin ruuaksi Suomessa ja 19 % vietiin pakasteina ihmisravinnoksi ulkomaille. 40 % valmistettiin kalajauhoksi (puhdistettu dioksiineista), joka päätyi suurimmalta osin kirjolohen ym. viljelyn kalan rehuun (Suomen virallinen tilasto (SVT)).

EFSA:n keräämien uusien esiintymistietojen perusteella dioksiinien sekä dioksiinien ja PCB-yhdisteiden summan enimmäismäärä kaloissa laskettiin vuonna 2011 nykyisiin arvoihin 3,5 ja 6,5 pg TEQ/g tp (EY N:o 1259/2011). Lisäksi PCB-yhdisteiden 28, 52, 101, 138, 153 ja 180 summalle vahvistettiin enimmäismäärä 75 ng/g tp. Samalla Suomi ja Ruotsi saivat pysyvän poikkeuksen markkinoida kotimaassa valikoituja luonnonvaraisesti pyydettyjä kalalajeja (yli 17 cm pitkä silakka ja lohi), joiden oletetaan olevan EU:n vaatimusten vastaisia. EU-kalat I–III suoritettiin dioksiini- ja PCB-yhdisteiden osalta edellä kuvatussa lainsäädännöllisessä kehikossa.

1.1.1 EFSA:n dioksiineja, PFAS-yhdisteitä ja elohopeaa koskevat riskinarvioinnit

Riskinhallinnan päätöksenteossa käytetyt riskinarvioinnit, sekä kotimaiset että EFSA:n tekemät, perustuvat useimmiten elintarvikkeista mitattuihin elintarvikevaarojen (esimerkiksi vierasaineet) pitoisuuksiin ja esiintyvyyteen sekä elintarvikkeiden kulutuksen määriin ja kulutusfrekvenssiin tutkitussa väestössä. Riskinhallintapäätöksissä nojautaan tavallisimmin altistuksen 95. prosenttipisteeseen, joka kuvaa eniten altistuvaa väestönosaa (tai riskituotteen suurkuluttajaa, jos tarkastellaan rajattua elintarvikeluokkaa). Arvio riskistä perustuu tällöin altistusmäärien vertailuun terveysperustaisiin vertailuarvoihin kuten siedettävän viikkosaannin enimmäismäärään (TWI). Vertailuarvot on muodostettu toksikologisissa ja epidemiologisissa tutkimuksissa tunnistetuista raja-arvoista sekä funktioista, jotka muuttavat herkimmän ihmisryhmän pienimmällä biologisen näytteen pitoisuudella havaitun terveyshaitan (esimerkiksi vierasaineen pitoisuus lapsen plasmassa) ruoasta saatavan altistuksen suuruudeksi. Jos TWI-arvo on johdettu eläinkokeista, siihen sisältyy usein turvakerroin, joka pyrkii huomioimaan keskivertoihmisen ja herkän yksilön väliset erot sekä käytetyn koe-eläinlajin ja ihmisen väliset toksikokineettiset ja -dynaamiset erot. Toisin sanoen TWI on kehitetty suojaamaan herkempiä väestönosia, ja riskinhallinnassa tähdätään varovaisuusperiaatteesta käsin mahdollisuuksien mukaan siihen, että sen ylittyminen väestössä olisi harvinaista. On kuitenkin huomattava, että TWI-arvon ylittävä altistus ei vielä suoraan tarkoita terveyshaitan ilmenemistä vaan TWI-arvon johtamisesta riippuen eriasteista ilmenemisriskin kasvua mitätöntä suuremmaksi.

Euroopan Elintarviketurvallisuusviranomainen (EFSA) on julkaissut vuoden 2011 jälkeen kaksi kalan käytön kannalta merkittävää POP-yhdisteiden riskinarviota sekä elohopeaa ja metyylielohopeaa koskevan riskinarvion. Vuonna 2012 EFSA:n kontaminanttipaneeli arvioi metyylielohopean siedettäväksi viikkosaanniksi (TWI) 1,3 µg Hg/kg rp/viikko (EFSA 2012). Arvo perustui epidemiologisiin tutkimuksiin älykkyden heikkenemisestä, ja jo siinä otettiin huomioon myös kalan sisältämien hyödyllisten rasvahappojen vastakkainen vaikutus. Vuonna 2018 EFSA:n kontaminanttipaneeli arvioi dioksiinien ja PCB:n uudeksi TWI-arvoksi 2 pg TEQ/kg rp/viikko, mikä perustui 18-

vuotiailla havaittuun siittiöiden määrän laskuun, jos seerumin pitoisuus 9-vuotiaana ylitti ns. kriittisen pitoisuuden 7,0 pg TEQ/g rasvaa (EFSA 2018). Vuonna 2020 julkaistiin PFAS-yhdisteiden riskinarviointi, missä 1-vuotiaiden lasten heikentyneen rokotevasteen perusteella johdettiin neljän PFAS-yhdisteen (PFOA, PFNA, PFHxS ja PFOS) summalle TWI-arvo 4,4 ng/kg rp/viikko. Tämän riskinarvioinnin seurauksena vuoden 2023 alussa asetettiin kalan lihalle kolme erillistä PFAS-yhdisteiden enimmäismäärää kalalajista ja kalan käyttökohteesta riippuen ((EU) 2023/915). Toisin kuin metyylielohopean tapauksessa, dioksiinien ja PFAS-yhdisteiden riskinarvioinnit eivät ottaneet huomioon kalan rasvahappojen vastakkaisia vaikutuksia.

WHO on päivittänyt dioksiinien ja PCB-yhdisteiden TEF-kertoimet (toxic equivalency factor) vuonna 2022 ja ne julkaistiin tammikuussa 2024 (DeVito ym. 2024). TEF-kertoimien päivityksen yhteydessä laskettiin, että monille elintarvikkeille dioksiinien ja PCB-yhdisteiden TEQ-pitoisuudet laskisivat noin 50 % käyttämällä uusia vuoden 2022 WHO-TEF-kertoimia verrattuna vuonna 2005 vahvistettuihin kertoimiin. Tässä hankkeessa TEQ-pitoisuudet on laskettu vuoden 2005 TEF-kertoimilla, joihin lainsäädännön enimmäismäärärajat samoin kuin TWI-arvo perustuvat. Vuoden 2018 dioksiinien riskinarviointi päivitetään vastaamaan uusia TEF-kertoimia vuoden 2026 kesään mennessä, ja EU-lainsäädännön enimmäismäärien laaja päivitys aloitetaan tämän jälkeen. Uusien TEF-kertoimien käyttö tässä hankkeessa ei siten ole perusteltua, koska muutosten kokonaisvaikutuksia ei vielä tunneta.

Muita EFSA:n riskinarvioiden tuloksia kalassa esiintyvistä, mutta edellä mainittuja vähemmän merkittävistä, vierasaineista käsitellään luvussa 2.3.1.1. Samoin kalassa esiintyvien ravintoaineiden (D-vitamiini ja omega-3-rasvahapot) riittävää saantia koskevat arviot käsitellään luvussa 2.3.1.1.

Altistuksen arvioinnin luotettavuuteen vaikuttaa käytettävissä olevien aineistojen laatu. Niukan ja vahvasti vasemmalta sensuroidun (eli pitoisuuksiltaan määrittäjärajalle jääviä näytteitä runsaasti sisältävän) pitoisuusaineiston käyttö tuo arvioon paljon epävarmuutta. Ruoankäyttötietoja voidaan kerätä useilla eri menetelmillä joko yksilötasoisesti tai edullisemmilla mutta karkeammilla menetelmillä. Yleensä altistuksen arvioinnissa pitoisuustiedot ovat peräisin eri näytteistä kuin toteutunut kulutus, ja esimerkiksi EFSA:n arviot perustuvat valtaosaltaan EU-jäsenmaiden viranomaisvalvontanäytteiden pitoisuuksiin, jotka painottuvat paljon näytteitä analysoiviin jäsenmaihiin. Kun tämä yhdistyy karkeisiin ruoankäyttötietoihin, tuloksena voi olla huomattava saannin yliarviointi.

1.1.2 EU-kalat IV -hanke verrattuna aikaisempiin EU-kalat -hankkeisiin

EU-kalat II (2009; raportti Hallikainen ym. (2011)) ja EU-kalat III (2016; raportti Airaksinen ym. (2018)) olivat sisällöllisesti hyvin samanlaisia kuin EU-kalat I, vaikka ne ottivatkin huomioon dioksiinien ja PCB-yhdisteiden laskeneet enimmäismäärät, raskasmetallit sekä tutkimuksellisesti kiinnostavat uudet yhdisteryhmät ja niiden seuranta-suositukset EU-lainsäädännössä (esim. PBDE-yhdisteet ja PFAS-yhdisteet). EFSA:n dioksiini- ja PFAS-riskinarvioinnit rikkoivat vanhan kaavan. Koska EFSA:n arvioima saanti dioksiineille ja PFAS-yhdisteille Suomessa ylittää TWI-arvot melko laajasti, ei kalan käytön lisäämiselle terveyshaitan riskin täydellisen välttämisen näkökulmasta ole enää "tilaa", vaikka kulutetun kalan dioksiini- ja PFAS-pitoisuudet olisivatkin enimmäismäärien alapuolella.

Samaan aikaan käsitys kotimaisen kalan arvosta ravitsemuksellisesti ja ekologisesti korkea-arvoisena ravintona on edelleen vahvistunut. Tässä hengessä edellinen ja nykyinen hallitus sitoutuivat kotimaisen kalan edistämishjelmaan (Valtioneuvosto 2021), joka pyrkii merkittävästi lisäämään kotimaisen kalan elintarvikekäyttöä. EU-kalat IV -hankkeen suunnittelussa oli siten ilmeistä, että kaloista mitattujen pitoisuuksien mekaaninen vertaaminen enimmäismääriin ei enää riitä. Vierasaineiden aikatrendien seurannan lisäksi oli tarpeen suorittaa laajempi tutkittavien kalalajien ravintoaineiden hyötyjen ja vierasaineiden haittojen vertaileva tutkimus. Edelleen vierasaineiden haittojen arvioinnissa tuli ottaa huomioon EFSA:n riskinarviointien lähtökohdat, jotka perustuivat spesifeillä väestöryhmillä epidemiologisissa tutkimuksissa havaittuihin haittoihin. Nämä lähtökohdat eivät ole relevantteja koko väestölle, erityisesti jos otetaan huomioon kalan käytön hyödyt ei-riskiryhmille. Tämä EU-kalat IV -hankkeen loppuraportti pyrkii siis tasapainottelemaan kalan käytön hyötyjen ja haittojen sekä riskinarvioinnin ja riskinhallinnan toisinaan hyvin ristiriitaisessa maailmassa. Laajasta näkökulmasta johtuen mitattavien haitta- ja hyötyaineiden kokonaismäärä on suurempi kuin yhdessäkään aikaisemmassa EU-kalat hankkeessa (Taulukko 1).

Taulukko 1. Eri EU-kalat -hankkeissa mitatut vierasaineet ja ravintoaineet. Hankkeen näytteenottovuosi suluissa.

	EU-Kalat I (2002)	EU-Kalat II (2009)	EU-Kalat III (2016)	EU-Kalat IV (2022)
Dioksiinit ja PCB:t	x	x	x	x
PBDE:t	x	x	x	x
PFAS		x	x	x
HBCD				x
Raskasmetallit*	x		x	x
D-vitamiini ja rasvahapot				x

*Elohopea, lyijy, kadmium sekä orgaaninen ja epäorgaaninen arseeni. EU-Kalat I- ja III-hankkeissa mitattiin arseeni vain kokonaisarseenina. EU-Kalat IV-hankkeeseen ei sisällytetty lyijyä ja kadmiumia, sillä niiden pitoisuudet kaloissa eivät ole suuret ja kalan merkitys kuluttajan kokonaisaltistukselle on kansallisten riskinarviointien perusteella vähäinen.

1.1.3 Suomen merialueiden ja sisävesien ympäristön tilan sekä kalakantojen seuranta ja arviointi

Kalan käytön hyötyjen ja haittojen vertailun lisäksi raportti linkittyy myös Suomen vesialueiden tilan ja kalakantojen arviointiin, jotka muodostavat pohjan koko kalataloudelle.

Vierasaineiden ympäristölaatu normit laaditaan Euroopan komission yhteisen tutkimuskeskuksen johtamissa asiantuntijaryhmissä ja ne tarkistetaan tieteellisen komitean SCHEER:in toimesta. Merialueiden ja sisävesien kemiallinen tila määritetään vertaamalla ympäristönäytteiden vierasainepitoisuuksia niille asetettuihin ympäristölaatu normeihin (EQS, environmental quality standard). Hankkeessa tutkituista vierasaineista EQS on asetettu dioksiineille ja dioksiininkaltaisille yhdisteille, PFOS:lle, PBDE- ja HBCD-yhdisteille, jotka on esitetty taulukossa 2. PFOS:lle asetettu EQS perustuu jaavanmakakilla tehtyyn subkrooniseen tutkimukseen, jossa PFOS:n havaittiin vaikuttavan madaltavasti veren HDL-kolesterolin tasoon. Dioksiinien ja dioksiinin kaltaisten yhdisteiden EQS perustuu EFSA:n riskinarvioon ja on samansuuruinen elintarvikkeikäyttöön tarkoitetulle luonnosta pyydetyn makeanveden kalan lihalle asetetun enimmäismäärän kanssa. PBDE-yhdisteiden laatu normin pohjana on BDE-99:n toksisuutta hiirille selvittänyt tutkimus. HBCD:n ja elohopean laatu normi on asetettu suojaamaan kalaa syöviä eliöitä aineiden haittavaikutuksilta.

Taulukko 2. Hankkeessa tutkituille vierasaineille asetetut ympäristölaatonormit. Summapitoisuuksiin sisältyvät aineet sekä elohopean ympäristölaatonormiin vaikuttavat veden humuspitoisuutta indikoivat väriluvut on annettu valtioneuvoston asetuksen 1308/2015 liitteessä 1.

Aine	Ympäristölaatonormi
Dioksiinit ja dioksiinin kaltaiset yhdisteet	0,0065 µg TEQ / kg tp
HBCD	167 µg/kg tp
PBDE-yhdisteet	0,0085 µg/kg tp
PFOS	9,1 µg/kg tp
Elohopea	Meri 200 µg/kg Sisävedet 200-250 µg/kg tp riippuen veden väriluvusta

Luonnonvarakeskus kerää osana merialueidemme kalakantojen seurantaan vuosittain näytteitä kaupallisen kalastuksen saaliista: silakasta, kilohailista, lohesta, siiasta, kuhasta ja ahvenesta. Lisäksi kaupallisten kalastajien saaliista sekä merestä että sisävesistä kootaan saalistilastoa. Silakan ja kilohailin seurannan osana ovat myös vuosittaiset kaikuluotaus- ja koetroolauksetmatkat Selkämerellä, Itämeren pääaltaan pohjoisosassa ja Suomenlahden pohjoispuoliskolla. Taloudellisesti merkittävimmistä lajeista julkaistaan seurantaraportti (esim. www.luke.fi/fi/luonnonvaratieto/tiedetta-ja-tietoa/kalakantojen-tila-2022).

“Silakka” on Atlantilla tavattavan sillin Itämeressä esiintyvien kantojen nimitys. Itämeren olosuhteissa silakka on hidas- ja pienikasvuisempi sekä vähärasvaisempi kuin Atlantilla tavattava silli. Silakkaa pyydetään troolilla avoimilta vesialueilta sekä rysillä ja verkoilla rannikolta kevään ja alkukesän kutuaikana. Selkämeri on tärkein pyyntialue. Kilohaili on samoin valtamerikala, jota tavataan runsaana Itämeren pääaltaassa sekä Suomenlahdessa ja vähälukuisempana Selkämeressä. Kanta-arvioihin perustuvat, EU:n neuvoston Suomelle asettamat kalastuskiintiöt silakalle ovat viime vuosina pienentyneet sekä Pohjanlahdella että Itämeren pääaltaassa, joista jälkimmäiseen kiintiö-alueeseen sisältyvät sekä Ahvenanmaan eteläpuoliset lähivedet että Suomenlahti. Pohjanlahden silakkakannan koon on arvioitu pienentyneen 2010-luvulla, ja 2020–2022 yllätti pienentyneestä silakkakannasta huolimatta tapahtunut kookkaiden silakoiden nälkiintyminen, josta silakat elpyivät vuosien 2022 ja 2023 aikana. Itämeren pääaltaassa sekä silakan että kilohailin runsaimmat esiintymisalueet vuonna 2023 olivat Suomen lähivesillä Suomenlahdella ja Saaristomeren eteläpuolella. Kilohailikanta on pitkään ollut melko vakaa.

Suomen runsain Itämeren lohien kanta lisääntyy ja viettää poikasvuotensa Tornionjossa, josta vaelluspoikaset vaeltavat merelle kasvamaan. Toinen alkuperäisistä luonnonvaraisen lohien lisääntymisjoistamme on Simojoki. Kotiutettuja, pieniä lohikantoja on myös joissakin muissa joissa kuten Kymijoen. Merivuotensa, joita on yleensä 1–3, useimmat lohet elävät eteläisellä Itämerellä, mutta hyvinä silakan poikasvuosina lohia saattaa jäädä myös Selkämerelle kasvamaan. Pääravintoa ovat silakka ja kilohaili. Lohet pyydetään sukukypsien lohien vaeltaessa rannikon lähellä kohti kutujokeaan tai sitten joessa.

Kaupallisen kuhasaaliin merestä pyydetty osuus on viime vuosina pienentynyt, yhtäältä harmaahylkeiden ja merimetsojen runsastumisesta johtuvan pyynnin hankaloitumisen, toisaalta osin sitä seuranneen kaupallisten kalastajien vähenemisen vuoksi. Samaan aikaan sisävesistä saatu kaupallinen kuhasaali on voimakkaasti kasvanut. Ilmaston lämpeneminen, rehevöityminen sekä järvivesien humuspitoisuuden kasvu ovat suosineet kuhan runsastumista vesissämme. Lämmintä vettä suosivaa kuhaa saadaan merkittäviä määriä jopa Oulujärvestä.

Muikku on isojen järviemme perinteinen, tärkeä talouskala, ja sen kanta on viime vuosina ollut vahva myös Perämeressä, mutta ei suolaisemmilla alueilla. Muikku on kilohailin tapaan eläinplanktoniin erikoistunut selkävesien ja ulapan laji.

Siikasaaliit merialueelta ovat vähentyneet vähitellen vuosituhannen vaihteesta asti. Merikutuinen siika lisääntyy hyvin enää Perämeressä, jokikutuinen lähinnä Tornionjossa. Eteläisiltä merialueilta saatavat siikat ovat lähes kokonaan peräisin istutuksista. Osa sioista – jokikutuiset vaellussiikat – vaeltavat syönnökselle eteläiselle Itämerelle asti. Sisävesien siikasaaliit ovat myös ajan mittaan pienentyneet.

Ahvanta tavataan runsaana niin rannikolla ja saaristossa kuin sisävesissäkin. Hauen kaupalliset saaliit merialueella vaihtelevat vuodesta toiseen. Aleneva suuntaus näkyy niissäkin, todennäköisimpänä syynä kaupallisten kalastajien väheneminen.

Kuoretta on pyydetty viime vuosina aiempaa suurempia määriä etenkin Selkämeren rannikolta kutuaikana. Saaliit merialueelta ovat viime vuosina olleet 1000–2000 tonnin luokkaa. Saaliit ovat menneet pääosin vientiin itäisen Euroopan alueelle. Suunnitelmia on tehty myös joidenkin järvien kuoreen kaupalliseksi hyödyntämiseksi.

Rehevöitymistä suosivien särjen ja lahnan pyyntiä tuettiin joitakin vuosia sitten tavoitteena saada niistä lisää tuotteita ruokamarkkinoille. Ainakin osin tavoite näyttää onnistuneen. Särjistä on tullut esimerkiksi Säkyän Pyhäjärven tärkein talouskala. Meressä ainakin lahnan kannat ovat edelleen runsaat, särjistä tietoa on heikommin. Molemmat lajit näyttävät pysyneen meressä hidaskasvuina.

Kalakantojen arviointiin liittyen keskimääräisestä poikkeavana erityistapauksena voitaneen pitää Selkämeren silakalla ilmennyt nälkiintymisjakso 2020–2022, jonka aikana kokonaispituudeltaan 15-senttiset ja isommat silakat laihtuivat heikkokuntoisiksi ja osa isoimmista yksilöistä oletettavasti kuoli nälkään. Hankkeen aikana näyttöä saatiin sekä nälkiintyneistä silakoista että jälleen hyväkuntoisiksi lihoneista yksilöistä. Nälkiintyminen on yhdistetty erityisesti silakan kaikuluotaus- ja koetroolausmatkoilla havaittuun massiaisten (Mysidae) lukumäärien vaihteluun.

Aikana, jona EU-kalat -hankkeita on ollut, ilmaston lämpenemisestä hyötyneen kuhan merkitys talouskalana on etenkin järvillä kasvanut samalla kun kylmää vettä suosivien siian ja mateen saaliit ovat pienentyneet. Särkikaloista, lähinnä särjestä ja lahnasta, on kehitetty uusia tuotteita mm. säilykkeiksi ja pakasteiksi.

1.2 Hankkeen tavoitteet

1.2.1 Suomen merialueiden ja sisävesien kalojen sekä kalan arvoketjun tuotteiden vierasaineiden, D-vitamiinin sekä rasvahappojen pitoisuuksien määrittäminen

Hankkeen tarkoituksena on määrittää kaloista ja kalan arvoketjun tuotteista dioksiinit ja PCB-yhdisteet, PBDE-yhdisteet, HBCD, PFAS-yhdisteet, epäorgaaninen arseeni, elohopea (myös metyylielohopea), D-vitamiini sekä rasvahapot, etenkin EPA ja DHA. Luonnonkalan ja uusien kotimaisen kalan arvoketjujen turvallisuuden osoittamiseksi näytteenotossa huomioidaan lajit, joita kuluttajat tällä hetkellä eniten syövät ja joiden käyttöä Kotimaisen kalan edistämishankkeissa esitetään lisättäväksi (silakka, kilohaili, kuore, särkikalat, pieni ahven, muikku ja kasvatettu kala). Arvoketjujen tutkimiseksi näytteitä otetaan luonnonkalan lisäksi tehtaiden kalamassasta ja valmiista kalatuotteista sekä kasvatetusta kalasta. Pitoisuustrendien arvioimiseksi luonnonkalojen näytteitä pyritään keräämään samoilta alueilta kuin edellisissä EU-kalat-hankkeissa. Silakan näytteenottoa keskitetään niille alueille ja niihin kokoluokkiin, joissa aikaisempien hankkeiden perusteella voivat dioksiinien ja PCB-yhdisteiden enimmäismäärärajat mahdollisesti ylittyä. Samalla pyritään saamaan resurssit huomioiden mahdollisimman kattava otanta PFAS-yhdisteiden esiintymisestä. Erityisesti silakan dioksiini- ja PCB-pitoisuustrendien arvioinnissa käytetään myös EU-kalat III -hankkeen tuloksia.

1.2.2 Suomen merialueiden ja sisävesien ympäristön tilan seuranta ja arviointi

Vesiympäristön seurannassa ja elintarvikevalvonnassa huolta aiheuttavat aineet ovat käytännössä samoja (esimerkiksi elohopea, dioksiinit ja PCB-yhdisteet), vaikka kynnyksarvot ovatkin osin erilaisia. Tämän hankkeen näytteenotto huomioi merialueiden ja ympäristön tilan sekä kalakantojen seurannan, arvioinnin ja elintarvikevalvonnan. Lisäksi hanke edistää tutkimuslaitosten yhteistyötä elintarvike- ja terveystieteiden kanssa.

Hanke tuottaa tietoa meri- ja sisävesiympäristön tilasta, kalakannoista ja niiden kunto- luokista, kotimaisen kalan vierasainepitoisuuksista sekä ravintoaineiden määristä ja pitoisuuksiin perustuvan laskennallisen arvion kalan käytön hyödyistä terveydelle. Tutkitun tiedon avulla Suomi voi vaikuttaa EU:n tuleviin enimmäispitoisuusrajojen uudistukseen ja muuhun lainsäädäntötyöhön. Hankkeen tuloksia voidaan lisäksi käyttää kalankäytön edistämistä koskevan viestinnän tukena.

1.2.3 Kalan turvallisen käytön ohjeiden tarkastaminen

Kalojen vierasainepitoisuuksissa tapahtuneiden muutosten ja toisaalta vierasaineille määritettyjen turvallisten enimmäissaantimäärien tiukennusten vuoksi on tarpeen arvioida nykyisten turvallisen käytön ohjeiden riittävyttä koko väestön suojaamiseksi. Kullekin kalalajille lasketaan viikkoannokset, joilla altistus eri vierasaineille pysyy niiden enimmäissaantimäärien rajoissa. Annosten laskennassa käytetään hankkeessa tuotettuja pitoisuustietoja, joita täydennetään tarvittaessa viime vuosina tehtyjen tutkimusten ja viranomaisanalyysien pitoisuuksilla. Lisäksi huomioidaan vierasaineiden saanti muista elintarvikelähteistä.

Mikäli riskinarvioinnin perusteella todetaan kuluttajan altistuksen elintarvikkeista voivan ylittää aineelle määritetyn siedettävän viikkosaannin enimmäisrajan (TWI) eli määrän, jolla terveyshaitan riski on mitätöntä suurempi, riskinhallintaan on erilaisia toimenpiteitä. Laajimmin väestötasoa suojaava keino on vaikuttaa riskinarvioinnissa merkittäviksi altistuslähteiksi todettujen elintarvikkeiden pitoisuuksiin asettamalla elintarvikkeiden vierasaineiden pitoisuuksille lainsäädännöllisiä enimmäismääriä (ML). Vierasainelainsäädäntö on valtaosin EU-tasoisista ja ML-arvot on siis asetettu EU-alueelle. Tämän lisäksi terveyshaitan kannalta riskiryhmiin kuuluville voidaan antaa kansallisia suosituksia tiettyjen elintarvikkeiden käytön rajoittamisesta, vaikka niissä olisi-kin enimmäismäärät alittavat pitoisuudet vierasaineita. Tämänhetkiset suositukset ovat saatavilla Ruokaviraston sivuilla (www.ruokavirasto.fi/turvallisenkaytonohjeet) ja niitä päivitetään uuden tiedon karttuessa.

1.2.4 Kalojen ja kalatuotteiden käytön riskien ja hyötyjen vertailu

Aiemmat riski–hyöty-analyysit ovat perustuneet lähinnä silakan ja lohen haitallisten ja hyödyllisten aineiden pitoisuuksiin. Hankkeen tavoitteena on päivittää arvio uusilla mittaustuloksilla ja laajentaa analyysi sisältämään suomalaisten koko nykyisen kalan käytön ja dioksiinien, elohopean, PFAS-yhdisteiden, epäorgaanisen arseenin, D-vitamiinin sekä oleellisten omega-3-rasvahappojen terveysvaikutukset.

Lisäksi tavoitteena on tarkastella tulevaisuuden kalankäyttötavoitteiden vaikutusta. Se toteutetaan arvioimalla suomalaisten altistus eri vierasaineille sekä D-vitamiinin ja rasvahappojen saanti erilaisilla kalan käyttömäärillä ja skenaarioilla, mm. Kotimaisen kalan edistämishojelman tavoitteen mukaisella lisääntyneellä kulutuksella. Riskien ja hyötyjen vertailu toteutetaan arvioitujen altistusmäärien perusteella vähintään kvalitatiivisesti, mutta saatavilla olevan tiedon rajoissa myös tarkemmalla tautitaakkaan perustuvalla menetelmällä.

1.2.5 Viestintä hyödyttää viranomaisia, toimijoita ja kansalaisia, ja hankkeen tuloksia hyödynnetään tulevien tutkimusten ja viranomaistyön aineistoina

Hanke tuottaa tietoa lainsäädäntötyön ja suositusten tueksi. Lisäksi toimijat voivat hyödyntää tuloksia omavalvontansa ja tuotekehityksensä suunnittelussa, ja kuluttajat omaa kalankäyttöään koskevassa päätöksenteossaan. Tätä varten hankkeen tulokset julkaistaan helposti hyödynnettävässä muodossa ja niitä linkitetään eri tietokantoihin, jotta eri päätöksentekijät löytävät ne. Hankkeessa mitattujen kalojen ja kalatuotteiden pitoisuustulokset siirretään EFSA:n tietokantaan vuosittain toteutettavan viranomaisvalvonta-aineiston tiedonsiirron yhteydessä. Näin ne ovat käytettävissä EU:n lainsäädäntötyön tukena ja EFSA:n myöhempien raporttien aineistoina. Pitoisuusaineistoja hyödynnetään myös kansallisessa riskinarviointi- ja muussa tutkimustyössä. Hankkeen tulokset tukevat myös kansallisia ravitsemussuosituksia.

Tämä raportti rinnakkaistallennetaan hankkeen kotisivuille (www.ruokavirasto.fi/EU-kalatV) sekä kansainvälisesti saavutettavaan EFSA:n Food Risk Assess Europe (FRAE) -julkaisuun, mikä lisää sen näkyvyyttä EU-alueella. Hankkeesta myöhemmin laadittavat tieteelliset julkaisut jaetaan samoin, mikäli se on julkaisijan puolesta mahdollista, tai ainakin linkitetään hankkeen kotisivuille. Raportin valmistumisesta tiedotetaan myös EFSA Focal Pointin kautta EFSA:n ylläpitämään tietokantaan ja EFSA:n Advisory Forum -kokousten yhteydessä jaettavalle listalle jäsenmaiden riskinarviointiaktiiviteeteista. Tietokannan välityksellä EFSA:n ohella EU-jäsenmaiden ja kandidaattimaiden elintarviketurvallisuusviranomaiset saavat tietoa muiden maiden ajankohtaisista tutkimuksista ja valmistuneista raporteista.

Erityisen tärkeää kala-alan toimijoille on silakan PFAS-pitoisuuksiin liittyvä viestintä, sillä näiden aineiden pitoisuuksista ja aikatrendeistä suhteessa uusiin enimmäismääriin on vielä suhteellisen vähän tietoa. Koska enimmäismäärät ylittävää kalaa ei saa saattaa markkinoille, kala-alan toimijoiden on tärkeä tietää, onko olemassa lajeja ja kalastusalueita, joilla on riski enimmäismäärien ylittymiseen.

2 Aineisto ja menetelmät

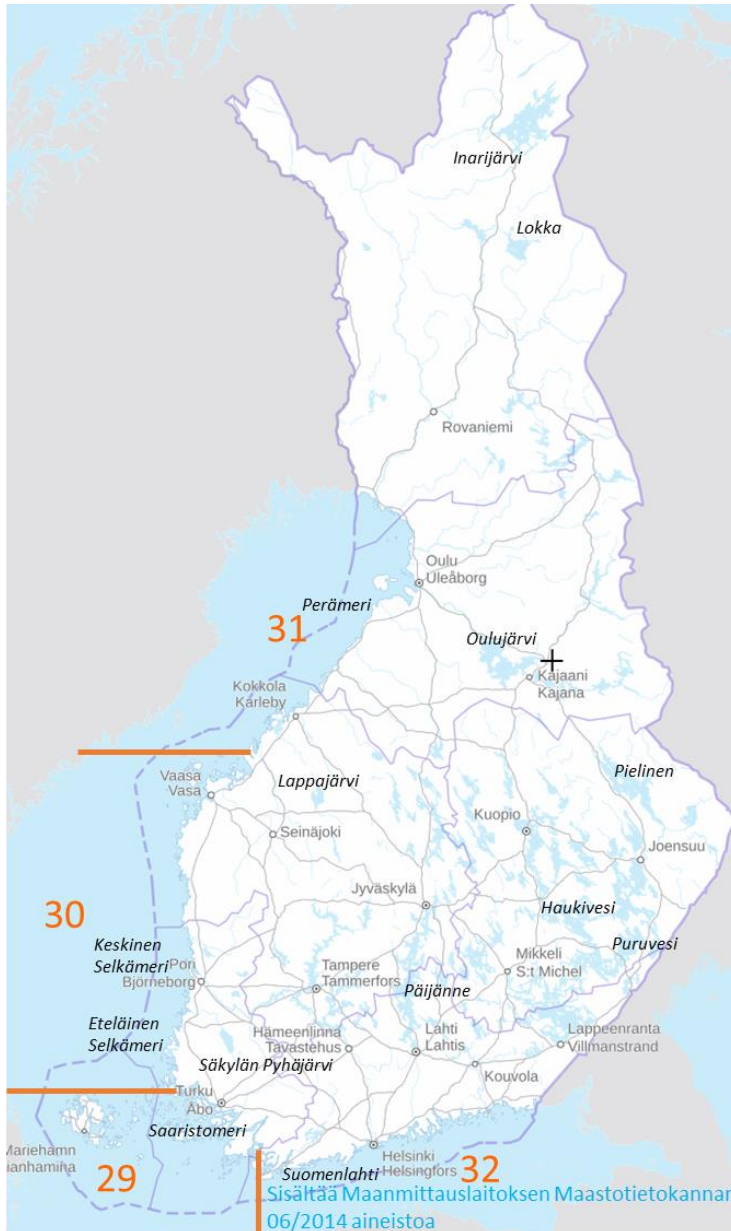
2.1 Näytteet kaloista ja kalatuotteista

2.1.1 Näytteenotto

Kuten aiemmissakin hankkeissa (Hallikainen ym. 2004, Venäläinen ym 2004, Hallikainen ym. 2011 Airaksinen ym. 2018), näytekalat keräsi Luonnonvarakeskus (Luke, edeltäjä Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos) tärkeimmiltä ammattikalastusalueilta. Kalat kerättiin eri merialueilta (Perämeri [ICES 31], Selkämeri (ICES 30), Saaristomeri [ICES 29] ja Suomenlahti [ICES 32]) ja yhdeksältä järvikalastusalueelta (Inarijärvi, Lappajärvi, Lokka, Oulujärvi, Pielinen, Päijänteen Tehinselkä, Saimaasta Haukivesi ja Puruvesi sekä Säkylän Pyhäjärvi (kuvio 1).

Jokaiseen analysoitavaan kokoomanäytteeseen pyrittiin saamaan kaloja useasta eri saaliista ja merialueilla myös usealta tilastoruudulta ja erityisesti niiltä ruuduilta, joiden lajikohtaiset saaliit olivat suurimmat hanketta edeltävänä vuotena 2021. Lisäksi näytteenotto pyrittiin keskittämään ajankohtiin, jolloin kunkin lajin saaliit ja myös tarjonta kuluttajille ovat suurimmillaan, eli usein kutuajan tienoille. Suurin osa näytteistä saatiin osana ammattikalastuksen saalisnäytteenottoa, osa näytteistä ostettiin ammattikalastajilta tai pyydettiin muulla tavalla. Näytteenotto integroitiin merialueella soveltuvien osien Luken toteuttamaan kalatalouden EU-tiedonkeruuhjelmaan. Lisäksi näytteitä otettiin usean kalanjalostustehtaan tuotteista, jotka olivat pääosin peräisin lähialueiden järvistä, mutta yhdellä toimijalla särkeä oli Säkylän Pyhäjärven lisäksi myös Kuusamon seudun järvistä ja merestä. Kustakin yrityksestä pyrittiin saamaan näyte raakamassasta, joka oli käytännössä pakastettua kalaa, ja valmiista tuotteesta. Valmiissa tuotteissa oli säilykkeitä ja pakasteita (järvikalapuikko särjestä). Myös myyntikokoista kasvatettua kalaa otettiin näytteiksi neljän ruokakalaa kasvattavan yhtiön valikoidusta, mahdollisuuksien mukaan sekä merestä että sisävesistä: kirjolohta ja siikaa sekä merestä että sisävesistä, nieriää sisävesilaitoksesta.

Kuvio 1. Näytteenottoalueet merkittynä karttaan kursivilla. ICES-osa-alueiden 29, 30, 31 ja 32 rajat merkitty vaaka- ja pystyviivoin.



Tutkittaviksi kaloiksi valittiin Suomessa yleisimmin kaupan pidettäviä kalalajeja, joiden pitoisuuksista haluttiin uutta tietoa ja joiden vierasainepitoisuuksia haluttiin verrata aikaisempiin EU-kalat-hankkeisiin (Taulukko 3, tarkemmat tiedot liitteessä 1). Siksi näyttekaloiksi valittiin paljolti samoja lajeja ja niistä samanpituisia yksilöitä kuin aiemmissa hankkeissa. EU-kalat III-hankkeessa mukana olleet, mutta myyntimääriltään melko

vähäiset made ja nahkiainen jätettiin tästä hankkeesta pois. Uutta olivat Inarijärven taimen ja kuore rannikon lisäksi myös yhdestä sisävedestä (Säkylän Pyhäjärvi).

Kilohailista, hauesta, kuhasta, särjestä, lahnasta ja ahvenesta näytteet otettiin mahdollisuuksien mukaan yhden kokoluokan kaloista. Kuore-, lohi- ja muikkunäytteet otettiin kahdesta, siikanäytteet kolmesta ja silakkanäytteet neljästä kokoluokasta. Kunkin lajin kokoluokat oli alun perin valittu sen mukaan, minkä kokoiset kalat ovat ammattikalastuksen saaliissa yleisimpiä. Näytekalojen koot kokoomanäytteissä alueittain on esitetty liitteen 1 taulukossa.

Pohjanlahdella etenkin kookkailla silakoilla vuosina 2021 ja 2022 havaitun poikkeuksellisen laihtumisen ja alkuvuodesta 2023 havaitun uudelleen lihomisen seurauksena silakasta otettiin näytteitä alun perin suunniteltua enemmän. Pienistä silakoista näytteet saatiin keväällä 2022, mutta kutuaikana silakoiden jako lihaviin ja laihoihin ei ollut mielekäästä sukukypsytymisen loppuvaiheiden ja mädin sekä maidin määrien vaihtelun vuoksi. Syksyn 2022 yritys saada vertailevat analyysit erikseen laihoista ja lihavista isoista silakoista epäonnistui, mutta näyte kuitenkin saatiin. Näytteenotto uusittiin helmikuussa 2023, jolloin yleiskunnonaltaan jo parantuneet saman troolauksen silakat (50 kpl) jaettiin kahteen, erikseen analysoitavaan ryhmään: otoksen laihimmat ja lihavimmat silakat.

Muut näytteet kerättiin suurimmaksi osaksi vuonna 2022. Vuonna 2023 otettiin seuraavat näytteet: Pieliseltä ahven, kuha, särki ja lahna sekä Puruvedeltä muikku. Lisäksi Pieliseltä neljä kalasäilykettä ja Savon taimen Oy:n kasvatetuista kaloista kirjolohinäytteet merestä ja siikanäytteet kiertovesilaitoksesta (sisävesi).

Raakamassoissa ja valmiissa tuotteissa alkuperäiset pyyntipäivät ovat tiedossa vain osittain. Kalamassa tai peratut kalat pakastettuina harkkoina ovat voineet odottaa pakkasessa vaihtelevia aikoja ennen tuotteen valmistamista. Lisäksi valmiissa säilykkeissä ilmoitettu parasta ennen -päiväys vaihteli, mikä kertoi myös valmistusajan vaihtelusta. Säilykkeen sisältämistä kaloista ei näin ollut mahdollista päätellä, minä vuodenaikana kalat oli pyydetty. Säilykkeestä liitteen 1 taulukkoon kirjattu päiväys voi olla säilykkeen hakupäivä valmistajalta tai ostopäivä kaupan hyllystä.

Näytteet otettiin noudattaen lainsäädännön vaatimuksia (Komission asetus (EU) N:o 589/2014, Komission asetus (EY) N:o 333/2007). Näytekalat valittiin kalan pituuden perusteella. Yhteen analysoitavaan kokoomanäytteeseen kerättiin 3–50 yksittäistä kalaa (Liite 1). Selkämeren silakan pienimpien kokoluokkien tavoitemäärä oli 50 yksilöä, jotta näytemassaa kertyisi varmasti riittävästi analysoitavaksi, muissa kokoluokissa ja eri alueilla tavoitemäärä oli 25 tai 30 yksilöä. Kilohaililla, muikulla ja kuoreella yksilöiden tavoitemäärä oli 30 yksilöä ja muilla kalalajeilla 15 yksilöä lukuun ottamatta lohta, jolla kokoomanäyte otettiin kolmesta yksilöstä kummassakin kokoluokassa. Silakoita

kerättiin ja niistä muodostettiin kokoomanäytteitä muita lajeja enemmän, koska silakka on Suomessa tärkein kalalaji sekä kaupallisesti (määrältään ja arvoltaan) että dioksiinien, PCB- että PFAS-yhdisteiden saannin kannalta. Suurimmat silakan kokoluokat ovat erityisesti kalanjalostusteollisuuden haluamaa raaka-ainetta. Raakamassoista, valmiista tuotteista ja myyntikokoisista kasvatetuista kaloista otettiin viisi massaotosta, säilykepurkkia, pakettia tai yksilöä kuhunkin kokoomanäytteeseen.

Taulukko 3. Hankkeessa otetut näytteet alueen ja lajin mukaan. Kustannussyistä kaikista näytteistä ei analysoitu dioksiineja, PBDE, HBCD, omega-3-rasvahappoja tai D-vitamiinia. Näiden analyttien näytemäärä on merkitty sulkuihin ja eroteltu tähdillä, mistä analyytistä on kyse. PFAS-yhdisteet ja elohopea mitattiin kaikista näytteistä.

Laji	Sisävedet	Kalatuotteet, raakamassa	Kasvatettu kala	Merialueet	Yhteensä
Ahven	8 (5*)	1	-	4	13
Hauki	4 (1*; 0**)	2 (1*)	-	-	6
Kilohaili	-	-	-	3 (0**)	3
Kirjolohi	-	-	3 (0**)	-	3
Kuha	5 (2*; 0**)	-	-	3 (2*; 0**)	8
Kuore	1 (0**)	-	-	1 (0**)	2
Lahna	5 (2*)	2 (0*)	-	4	11
Lohi	-	-	-	2 (0**)	2
Muikku	5 (2*)	3 (2*)	-	1 (0**)	9
Nieriä	-	-	1 (0**)	-	1
Siika	1 (0**)	-	2 (0**)	5 (4**)	8
Silakka	-	-	-	16 (12*)	16
Särki	7 (4*)	5 (2*)	-	4	16
Taimen	1 (0**)	-	-	-	1
Yhteensä	37 (19*; 21**)	13 (6*)	6 (0**)	43 (38*; 32**)	99

* Dioksiinit ja dl-PCB, PBDE ja HBCD ** Omega-3 ja D-vitamiini

Hankkeen resurssien puitteissa näytteenottoa ei voitu tehdä siinä laajuudessa, että lajikohtainen pitoisuuksien 95. prosenttipisteen määrittäminen tämän hankkeen tuloksista olisi mahdollista: siihen tarvittava miniminäytemäärä on noin 20 per kalalaji. Tulosten perusteella varsinkin silakalla pyyntiaikaan, alueeseen ja kokoluokkiin liittyvän PFAS-pitoisuuksien hajonnan selvittäminen vaatisi huomattavan suurta näytteenottoa.

2.1.2 Esikäsittely

Jokaisesta pooliin kuuluvasta näytekalasta otettiin homogenisoitavaksi suunnilleen yhtä isot kalapalat kuin pienimmästä näytekalasta. Jos näytettä oli hyvin vähän, ja näytekalat olivat suhteellisen samankokoisia, otettiin ne mukaan kokonaan (esim. pienimmät silakat), kuitenkin suolistettuina ja päät irrotettuina.

Poolin kaloista leikattiin pyrstöt irti Sr-määrittystä varten, (vähän lihaa sai tulla mukaan). Jos pooli koostui kalan keskiosan paloista, otettiin näytteeksi selkäevät. Näytteet pakastettiin -20 °C:ssa.

Silakka, kilohaili, kuore ja muikku: Nahka otettiin mukaan näytteeseen ja selkäranka-kin siinä tapauksessa, että se oli niin ohut, että se olisi soveltunut myös syötäväksi.

Muut kalat: Nahka, pyrstö, evät, selkäranka ja isoimmat ruodot jätettiin pois, mutta nah-
han sisäpuolella oleva rasva rapsutettiin tarkasti mukaan näytteeseen.

Näytekalat leikattiin tai saksittiin pieneksi silpuksi ja pooli homogenisoitiin homogeni-
saattorilla: Leikkaava mylly oli Retsch Grindomix GM300 (Verder Scientific, Retsch-
Allee 1-5, 42781 Haan, Germany). Homogenisoinnin asetukset 3000 rpm 30 sek vä-
hintään kaksi kertaa välillä näytettä sekoittaen, kuitenkin niin, ettei näyte päässyt läm-
piämään jauhatuksen aikana.

Homogenaatti jaettiin purkkeihin lähetettäväksi eri laboratorioille ja pakastettiin
-80 °C:ssa. Jokaisesta näytteestä otettiin vähintään yksi varanäyte näytepank-
kiin (-80 °C).

Kalasäilykkeistä otettiin analysoitava osuus sillä tavoin kuin kuluttaja tyypillisesti tuot-
teen käyttäisi: öljyssä tai vedessä olevista kalanpaloista poimittiin kalanpalaset haaru-
kalla tai lusikalla, tomaattikastikkeessa oleva tuote käytettiin kokonaan. Koska mu-
kaan tuli myös öljyä tai kastiketta, säilykkeiden pitoisuustulokset etenkin rasvahap-
pojen osalta eivät ole suoraan verrattavissa käsittelemättömään kalaan. Pitoisuudet
kuvastavat kuitenkin varsin tarkasti kuluttajan lautaselle päätyvää tuotetta.

Tutkitut kalan raakamassat olivat jäästä sulatettuina jauhettua kalan lihaa, josta ei enää voinut erottaa yksilöitä.

länmääritykset

Kalojen iät määritettiin luutumista – suomuista, luista tai otoliiteista (sagitta) – pääsääntöisesti Luonnonvarakeskuksessa suositelluin menetelmin (Raitaniemi ym. 2000). Kaikkien lajien luutumissa on omat erityispiirteensä, jotka huomioitiin määrityksiä tehtäessä.

Edellisistä poikkeuksena silakan kokoomanäytekohtaiset keskimääräiset iät estimoitiin Selkämeren näytteitä lukuun ottamatta ikä-pituusavaimen avulla laskennallisesti samoilta alueilta ja samalla vuosineljänneksellä tehtyjen kyseisten lajien iänmääritysten pohjalta. Näytesilakoiden iät arvioitiin keskimäärin samoiksi kuin samanmittaisten iältään määritettyjen yksilöiden iät.

Kilohailin, Selkämeren silakan ja kuoreen iänmäärityksessä otoliitin poikkileikkauspinoilta oli menetelmä muuten sama kuin Raitaniemen ym. (2000) kuvaama, mutta määritys tehtiin 0,4 mm:n paksuiselta, otoliitin keskuksen lävistävältä leikkeeltä. Vuosirenkaiden värjäyksessä tehtiin otoliitin poikkileikkauksen etsaus laimealla suolahapolla ennen väriaineella käsittelyä solukalvojen saamiseksi paremmin esiin otoliitin kalsiumkarbonaattipinnalta, ja väriaineena käytettiin toluidiininsinisen ja etikkahapon seosta. Otoliittia oli käytetty myös ikä-pituusavaimen pohjana olevien silakka-aineistojen iänmäärityksissä.

Lohen ja taimenen ikä määritettiin suomusta menetelmällä, jossa suomun uurteet prässätään läpinäkyvälle muovilevyille. Muoville syntyneestä painanteesta suomun uurteet näkyvät selvemmin kuin itse suomusta. Samoin kuhan ikä määritettiin suomusta. Muikun ja siian iänmäärityksessä käytettiin suomujen lisäksi tarpeen vaatiessa otoliitteja. Suomi on käyttökelpoisin nopeakasvuisten kalalajien iänmäärityksissä, mutta sen luotettavuus on hitaasti kasvaneilla kaloilla heikko.

Useiden lajien iät määritettiin luista – ahvenen ikä kiduskannen luusta eli operculumista sekä hauen, lahnan ja särjen ikä hartian lukkoluusta eli cleithrumista. Määritys tehdään puhtaalta, kuivatulta luun pinnalta, jossa vuosirenkaat näkyvät yleensä ympäristöstään erottuvina terävinä rajalinjoina. Niissä läpikuultavana luuna näkyvä myöhäisen syksyn heikentynyt kasvu vaihtuu sameana luuna näkyvään seuraavan kasvukauden voimakkaampaan kasvuun.

2.1.3 Laboratorioanalyysit

Laboratorioanalyysien tarkemmat kuvaukset ovat raportin liitteessä 2.

Rasvahapot ja D-vitamiini

Rasvahapot analysoitiin GC-FID-laitteistolla metyyliestereinä. Kolekalsiferolin eli D3-vitamiinin pitoisuudet analysoitiin HPLC-DAD -laitteistolla.

Dioksiinit ja PCB-, PBDE- ja HBCD-yhdisteet

Määritettävät yhdisteet uutettiin kylmäkuivatusta näytteestä paineistetulla liuotintuotolla, uutunut rasva poistettiin rikkihapposilikapylvällä ja POP-yhdisteet fraktioitiin alumiini- ja hiilipylvällä. Dioksiinit, PCB:t ja PBDE:t määritettiin GC-MS/MS laitteella ja HBCD LC-MS/MS laitteella. Dioksiinien, PCB-yhdisteiden ja PBDE-yhdisteiden määrittäminen tehtiin pääpiirteissään kuten EU-kalat III hankkeessa. Uutena analyttinä tässä hankkeessa määritettiin HBCD.

Dioksiinien sekä dioksiinien ja PCB-yhdisteiden summapitoisuuksien laskuun sekä niiden riskinarviointiin käytettiin voimassa olevia WHO-2005 TEF-kertoimia. EFSA:n vuoden 2018 riskinarvioinnin tulokset päivitetään uusille WHO-2022 TEF-kertoimille nyky suunnitelmien mukaan vuoden 2026 alussa. Samalla päivitetään elintarvikkeiden enimmäismäärät.

PFAS-yhdisteet

PFAS-yhdisteet uutettiin kylmäkuivatusta näytteestä metanoliin, uute puhdistettiin saostamalla häiriötekijät ammoniumasetaatilla ja PFAS-yhdisteet määritettiin LC-MS/MS laitteella. Määrittäminen oli sama kuin EU-kalat II- ja III -hankkeissa.

Elohopea ja epäorgaaninen arseeni

Elohopea ja metyylielohopea määritettiin AAS-tekniikkaan perustuvalla elohopea-analyysaattorilla. Metyylielohopean määrittämisessä metyylielohopea erotettiin kaksoisuuttamalla näyte ennen analysointia elohopea-analyysaattorissa. Arseeniyhdisteet uutettiin tuoreesta näytteestä typpihappo- ja vetyperoksidiliuokseen. Uuttoliuoksesta epäorgaaninen arseeni määritettiin HPLC-ICP-MS-laitteistolla, jossa arseeniyhdisteet erotellaan korkean erotuskyvyn nestekromatografialla ja detektoidaan ICP-MS-laitteella.

2.1.4 Työssä lisäksi käytetyt aineistot

Tässä hankkeessa mitattujen näytteiden muodostamaa aineistoa täydennettiin altistuksen arviointia varten analyysien tuloksilla hankkeesta EU-kalat III (Airaksinen ym. 2018), SYKEN kertymärekisterin (KERTY) pitoisuuksilla vuosilta 2016–2021, sekä kirjallisuustiedoilla tuontikalojen vierasainepitoisuuksista ja useiden lajien (tuontikalat sekä ahven, hauki, kilohaili, kirjolohi, kuha, lahna, lohi, muikku ja silakka) hyötyainepitoisuuksista. Pitoisuusaineiston täydentäminen oli välttämätöntä mittaustietojen puutteen (tuontikalat) tai altistuksen arvioinnissa käytetyn mallin toiminnan kannalta joistakin lajeista otetun liian vähäisen näytemäärän vuoksi, mutta näytteenoton eroista johtuvan epävarmuuden vuoksi arvioissa rajoituttiin EU-kalat III- ja IV -hankkeiden tuloksiin aina, kun se oli mahdollista.

Aineiden pitoisuuksia seurataan avomerellä silakassa ja rannikolla sekä sisävesissä ahvenessa ja mittaustulokset tallennetaan ympäristöhallinnon KERTY-rekisteriin. POP-yhdisteiden näytematriisina on ahvenessa lihas, johon on jätetty suomustettu nahka, silakassa valkea lihas. Näytteet ovat kokoomanäytteitä, jotka sisältävät silakan kohdalla näytettä 10-20 yksilöstä ja ahvenen kohdalla 15-30 yksilöstä. Näyteyksilöiden koko on ahventen kohdalla 15-20 cm sisävesissä ja 18-23 cm rannikolla. Silakka-näytteisiin valitaan n. 17 cm pituisia yksilöitä. Näytelajien valinta ja näyteyksilöiden taivoitekoko noudattavat EU:n ohjetta haitallisten aineiden seurannasta eliöistä (European Union 2014), jonka mukaan näytelajin tulisi olla tila-arvioinnin kohteena olevalla alueella yleisesti ja runsaasti esiintyvä, näyteyksilöiden tulisi olla 3-5 vuotiaita ja edustaa trofiatasoa 3 tai 4. Vuosien 2016-2021 KERTY-rekisterin ahvennäytteiden pyyntiajankohta on ollut heinä-marraskuu ja silakkanäytteiden syys-marraskuu, lukuun ottamatta vuoden 2016 Tuusulanjärven ahvennäytettä ja vuoden 2016 Kalajoen silakka-näytettä, jotka pyydettiin toukokuussa.

Kirjallisuustietoja eri lajien keskiarvopitoisuuksista oli käytössä seuraavasti: Norjan Havforskning sinstituttet'in ylläpitämästä tietokannasta (<https://sjomatdata.hi.no/>) poimittiin pitoisuustiedot vuosilta 2010–2021, joista käytettiin POP-yhdisteiden osalta vain viimeisimpien viiden vuoden aikana tuotettuja tuloksia ja rasvahappojen sekä D-vitamiinipitoisuuksien osalta saatavilla olevan tiedon niukkuuden vuoksi koko ajanjaksoa. Lisäksi vierasainepitoisuuksia täydennettiin EFSA:n raporttien (EFSA 2012, EFSA 2021b, EFSA 2020, EFSA 2018) eurooppalaisilla keskiarvopitoisuuksilla eri lajeille sekä tuontilohikalajien PFAS-pitoisuuksilla viitteestä (Zafeiraki ym. 2019). PFAS-yhdisteistä tarkasteltiin riskinarvioinnissa vain neljän yhdisteen summaa, PFAS4, jolle EFSA on määrittänyt TWI-arvon. Rasvahappojen ja D-vitamiinin pitoisuuksia täydennettiin Fineli-koostumustietokannasta (THL 2019) ja rasvahappopitoisuuksia myös THL:n Opasnetiin (www.opasnet.org/testiwiki/index.php/Concentrations_of_beneficial_nutrients_in_fish) kootuista arvoista. Taulukkoon 4 on eritelty eri lähteistä poimitut tiedot lajeittain ja tekijöittäin.

Taulukko 4. Käytettyjen kirjallisuustietojen erittely

Tietolähde	Kalalajit	Tekijät
EU-Kalat III	kaikki tuolloin tutkitut kotimaiset lajit	Hg, dioksiinit, PFAS4, PBDE
Havforskningsinstitutet	silli, puna-ahven, kampela, tuontilohi, tuontikirjolohi	Hg, As
Havforskningsinstitutet	tonnikala, tuontilohi, tuontikirjolohi	D-vitamiini, omega-3
EFSA:n raportit	tonnikala, silli, seiti, anjovis, sardiini, kampela, turska, puna-ahven, makrilli, keskiarvokala, lohi, kirjolohi	Hg, iAs, dioksiinit, PFAS4
Fineli-tietokanta	ahven, anjovis, hauki, kampela, kilohaili, kirjolohi, kuha, lahna, lohi, makrilli, muikku, puna-ahven, sardiini, seiti, siika, silakka, silli, tilapia, tonnikala, turska	D-vitamiini, omega-3
Zafeiraki ym	tuontilohi, tuontikirjolohi	PFAS4
Opasnet-tietokide	lohi	omega-3

2.2 Suomalaisten ruoankäyttö

Ruoankäyttötietoina altistuksen arvioinnissa hyödynnettiin sekä tietoja toteutuneesta ruoankäytöstä (FinRavinto 2017) että erilaisten suositusten tai tavoitteiden mukaan laadittuja käyttöskenaarioita, joiden yksityiskohdat on esitetty luvussa 2.2.2 sekä Liitteessä 3.

2.2.1 FinRavinto 2017

FinTerveys 2017 -tutkimuksessa kootusta ruoankäytöstä (FinRavinto 2017) poimitut tiedot kalan kulutuksesta saatiin THL Biopankilta (www.thl.fi/biopankki, tutkimusnumero THLBB2022_20). Kiitämme tutkimuksen osanottajia heidän osallistumisestaan THL Biopankkiin ja FinTerveys 2017 -tutkimukseen. Aineistonkeruun toteutus on kuvattu yksityiskohtaisemmin THL:n raportissa (Kaartinen ym. 2018).

THL Biopankilta saadusta FinRavinto 2017 -aineistosta käytettiin arvioinnissa raaka-ainetasolle eriteltyjä kaikkien käytettyjen kalalajien kulutustietoja (g/vrk). Ne oli koottu tammi-lokakuussa 2017 kahtena erillisenä tutkimuspäivänä (2 x 24h ruoankäyttöhaastattelu) yhteensä 1593 suomalaiselta 18–74 -vuotiaalta kuluttajalta. Näistä 53 % oli naisia. Osallistujien paino oli välillä 39–150 kg, naisten paino keskimäärin 70,8 kg (viisivuotiskäryhmissä keskiarvot 67,9–74,7 kg) ja miesten keskimäärin 85,1 kg (viisivuotiskäryhmissä keskiarvot 82,7–88,4 kg). Painotietojen avulla kunkin yksilön ruoankäyttö suhteutettiin altistuksen arvioinnissa ruumiinpainoon (g/kg rp/vrk). Parhaillaan raskaana olevia oli FinRavinto 2017 -aineistossa liian vähän (8 kpl ensimmäisenä, 9 kpl toisena keruupäivänä) heidän tarkastelemisekseen erillisenä ryhmänä, joten hankkeessa arvioitiin sikiöaikaista altistusta alle 45-vuotiaiden naisten altistuksen perusteella. Ikäryhmä kattaa lähes kaikki synnyttäjät, sillä vuonna 2022 syntyneistä lapsista 99,6% syntyi enintään 45-vuotiaille (Tilastokeskus).

Kokonaiskalankäytön (kotimaiset kalat ja tuontikalat yhteensä) jakauma FinRavinto 2017 -aineistossa on esitetty Taulukossa 5. Kalan kulutusmäärät olivat yksi riski-hyötyarvion tautitaakkalaskennan lähtötiedoista.

Taulukko 5. FinRavinto 2017 -aineiston kalankäytön jakauma ikäryhmittäin ja sukupuolittain. Luvut ovat prosenttiosuuksia siitä osasta rivillä tutkittua väestöä, jonka viikon aikana nauttima kalamäärä on sarakkeen otsikossa määritellyn mukainen. Kahden eniten kalaa kuluttavan ryhmän (yli 300 g/viikko) jakovälit perustuvat tautitaakkarivion tarpeisiin.

Ikäryhmä, sukupuoli	0–100 g	100–200 g	200–300 g	300–420 g	yli 420 g
18–24, naiset	65 %	6 %	8 %	8 %	12 %
18–24, miehet	63 %	5 %	2 %	9 %	21 %
25–34, naiset	61 %	10 %	7 %	8 %	14 %
25–34, miehet	63 %	5 %	6 %	9 %	18 %
35–44, naiset	55 %	11 %	8 %	5 %	21 %
35–44, miehet	61 %	9 %	3 %	6 %	21 %
45–54, naiset	56 %	10 %	10 %	10 %	13 %
45–54, miehet	57 %	8 %	7 %	8 %	20 %
55–64, naiset	55 %	7 %	7 %	10 %	21 %
55–64, miehet	55 %	7 %	5 %	10 %	23 %
65–74, naiset	53 %	9 %	10 %	9 %	19 %
65–74, miehet	51 %	7 %	10 %	9 %	24 %

2.2.2 Tulevaisuuden kalankäytön skenaarit

Skenaarioissa käytetyt kalalajien käyttömäärät, käyttösuudet ja oletukset on esitetty Liitteessä 3. Kotimaisten kalojen pitoisuuksia painotettiin kalastusaluettain Luonnonvarakeskuksen pyyntimäärätilastosta lasketuilla painokertoimilla.

Skenaarioita luotiin neljä eri päätyyppiä, joista kukin sisältää 2–3 muunnelmaa (Taulukko 6):

- Skenaario 1 pohjautuu tutkimus- ja tilastotietoon toteutuneesta kalan kulutuksesta ja on paras arvio väestön nykyisistä käyttötottumuksista.
- Skenaario 2 kuvaa ajantasaisten suomalaisten ravitsemussuositusten mukaista kalankäyttöä.
- Skenaario 3 perustuu Kotimaisen kalan edistämishjelman kulutustavoitteisiin.

- Skenaario 4 perustuu hankkeen aikana julkaistuihin (20.6.2023) pohjoismaisissa ravitsemussuosituksissa esitettyihin käyttömääriin. Viikkoannoksesta vähintään 200 g on rasvaista kalaa.

Taulukko 6. Tiivistelmä eri kalankäyttöskenaarioiden viikkokulutuksesta ja eri kalalajien käyttösuuksia määritettäessä käytetyistä periaatteista. Liitteen 3 taulukoissa ovat skenaarioissa käytetyt eri lajien kulutusmäärät.

Skenaario (kulutus)	Skenaarion lyhyt kuvaus
1A (209 g/viikko)	FinRavinto 2017 mukainen kulutus kalalajeittain
1B (209 g/viikko)	Paras arvio nykyisestä kalankulutuksesta, huomioitu myös Luken tilastot
2A (200 g/viikko)	Nykysuositus: 2 annosta/viikko, rajoitukset tietyille lajeille ja näille käyttö rajoituksen maksimin mukaista, muiden lajien kulutus skenaarion 1B osuuksilla siten, että rasvaisten ja vähärasvaisten kalalajien osuudet yhtä suuret
2B (200 g/viikko)	Nykysuositus, vain rasvaiset kalalajit, muuten kuten skenaario 2A
2C (200 g/viikko)	Nykysuositus, vain vähärasvaiset kalalajit, muuten kuten skenaario 2A
3A (250 g/viikko)	Kotimaisen luonnonkalan käyttö kotimaisen kalan edistämishojelman mukainen, tuontilohikalat korvattu kotimaisella kirjolohella, muiden lajien käyttö vähenee vastaavasti nykykulutusmäärästä käyttösuuksiensa suhteessa
3B (250 g/viikko)	Kotimaisen luonnonkalan käyttö kotimaisen kalan edistämishojelman mukainen, muiden lajien käyttö vähenee vastaavasti nykykulutusmäärästä käyttösuuksiensa suhteessa
3C (273 g/viikko)	Kotimaisen luonnonkalan käyttö kotimaisen kalan edistämishojelman mukainen, muun kalan käyttö nykykulutuksen mukainen
4A (450 g/viikko)	Skenaario 3A pohjoismaisten ravitsemussuositusten ylärajakäytöllä: "Kalan käyttö lisääntyy paljon, erityisesti kotimaisen luonnonkalan käyttö"
4B (448 g/viikko)	Skenaario 3B pohjoismaisten ravitsemussuositusten ylärajakäytöllä: "Kalan käyttö lisääntyy paljon, erityisesti kotimaisen luonnonkalan käyttö". Eroa skenaarioon 4A lohikalojen kotimaisuusasteessa ja kulutusmäärissä.
4C (450 g/viikko)	Skenaario 3C pohjoismaisten ravitsemussuositusten ylärajakäytöllä: "Kalan käyttö lisääntyy paljon, kotimaisen luonnonkalan käyttö lisääntyy tavoitteen mukaisesti"

2.3 Riskinarvioinnin menetelmät

2.3.1 Riskinarvioinnin taustatiedot

Tässä esitetään taustatiedot, joita riskinarvioinnissa hyödynnettiin pitoisuusaineistojen sekä ruoankäyttötietojen lisäksi.

2.3.1.1 Toksikologiset vertailuarvot

Tässä työssä tutkittujen vierasaineiden pienimmillä altistusmäärillä ilmenevien haitallisten terveysvaikutusten oleellimmat riskipopulaatiot ovat sikiöt ja pikkulapset. Nuorten poikien dioksiini- ja PCB-altistus aiheuttaa myöhempää siittiömäärien laskua, PFAS-yhdisteet heikentävät pikkulasten rokotusvastetta ja sikiö- tai pikkulapsiajan metyylielohopea-altistus aiheuttaa keskushermoston kehityksen häiriöitä. Vain epäorgaanisen arseenin karsinogeeninen vaikutus kohdistuu koko väestöön.

Epidemiologisissa tutkimuksissa biologisista näytteistä määritettyjen vertailuarvojen, esimerkiksi vierasaineen pitoisuuden plasmassa, muuntaminen ruoassa saatavan altistuksen yksiköiksi ei ole läheskään kaikilla vierasaineilla suoraviivaista. TWI-arvo on voitu määrittää esimerkiksi naiselle, jonka elimistöstä vierasaine kertyy varsinaisen haitan kokevaan lapseen istukan ja/tai imetyksen kautta. Taulukkoon 7 on merkitty toksikologisten vertailuarvojen kuten siedettävän viikkosaannin (TWI) ja haittavaikutuksen tyyppin lisäksi vertailuarvon yhteys riskipopulaatioon.

Taulukko 7. Tutkittujen vierasaineiden terveysvaikutukset, toksikologiset vertailuarvot sekä vertailuarvon määrittystavan muoto. Terveyshaitan riski on mitätön, mikäli altistus on enintään TWI:n suuruista tai altistusmarginaali (MoE) muuntotyypisen vertailuarvon ja altistuksen välillä on vähintään merkityn suuruisen. MoET lasketaan ainekohtaisten MoE-arvojen käänteislukujen summan käänteislukuna.

Tekijä	Vertailuarvo ja arvon tyyppi	Terveyshaitan kohde	Vertailuarvon yhteys kohdepopulaatioon
Dioksiinit ja dl-PCB ^a	TWI: 2 pg TEQ /kg rp/viikko	Siittiöiden laatu 18 vuoden iässä	Äidin altistus, jolla poikaan kertyvä määrä 1 v imetyksen ja sen jälkeen altistuksella 2xTWI ei 9 v iässä ylitä seerumin kriittistä pitoisuutta 7,0 pg TEQ/g rasvaa.
PFAS4 ^b	TWI: 4,4 ng/kg rp/viikko	Immuunivaste 1 vuoden iässä	Äidin altistus, jolla kertymä elimistöön 35 v iässä ei nosta 1 v imetyksen aikana lapsen seerumin pitoisuutta yli kriittisen arvon 17,5 ng/ml.
iAs ^c	BMDL _{0,5} : 3,0 µg/kg rp/vrk (MoE 1000) ^f	Syöpä (keuhkot, iho, virtsarakko)	Suora (mutta paljolti veden iAs-määriin perustuva).
MeHg ^d	TWI: 1,3 µg/kg rp/viikko	Keskushermoston kehitys	Äidin hiusten pitoisuuksista määritetty sikiöaikainen altistus muunnettuna äidin altistukseksi ruoasta.
HBCE ^e	LOAEL: 2,35 µg/kg rp/vrk (MoE 24)	Keskushermoston kehitys	Koe-eläimen vasteeseen liittyvää elimistökuormaa vastaava ihmisen elimistökuorma, altistusmääriksi laskettuna
BDE-47, BDE-99, BDE-153, BDE-209 ^g	BMDL ₁₀ : 0,023 (BDE-47), 0,05 (BDE-99), 0,11 (BDE-153) mg/kg rp/vrk, BMDL ₀₅ : 0,91 (BDE-209) mg/kg rp/vrk (MoET 25)	Hedelmällisyys ja/tai keskushermoston kehitys	Koe-eläimen vasteeseen liittyvää elimistökuormaa vastaava ihmisen elimistökuorma, altistusmääriksi laskettuna

Viitteet: a) EFSA 2018; b) EFSA 2020; c) JECFA 2011; d) EFSA 2012; e) EFSA 2021; f) Raporttia kirjoitettaessa 2024 julkaistiin EFSA:n uusi arvio, jonka mukaan BMDL₀₅-arvo ihosyövälle on 0,06 µg iAs/kg rp/vrk. Toksikologisen vertailuarvon muutos ei vaikuta tautitaakka-arvion kaavaan; g) EFSA 2024

Terveydelle hyödyllisille aineille, tässä työssä D-vitamiinille ja omega-3-rasvahapoille, on määritetty riittävän saannin vähimmäismäärä ja rasvaliukoiselle D-vitamiinille myös enimmäissaanti. Näiden arvot on koottu Taulukkoon 8.

Taulukko 8. Tutkittujen terveydelle hyödyllisten aineiden riittävä saanti (AI) ja enimmäissaanti (UL) eri ikäryhmissä. Omega-3-rasvahapoista oleellisin arvo on kahden yhdisteen, EPA ja DHA, summa. D-vitamiinin AI-arvoa määritettäessä on Suomessa huomioitu auringonvalon avulla muodostuva vitamiini.

Tekijä	Vertailuarvo ja arvon tyyppi	Ikäryhmä	Viite
D-vitamiini	AI: 15 µg/vrk	1–100 v	EFSA 2017
D-vitamiini	AI: 10 µg/vrk	1–100 v	Ruokavirasto 2022
D-vitamiini	UL: 50 µg/vrk*	1–10 v	EFSA 2023
D-vitamiini	UL: 100 µg/vrk	11–100 v	EFSA 2023
EPA+DHA	AI: 100 mg/vrk	1 v	EFSA 2010
EPA+DHA	AI: 250 mg/vrk	2–100 v	EFSA 2010

* Alle 6 kk iässä 25 µg/vrk ja 6-12 kk iässä 35 µg/vrk (Ruokavirasto 2022)

Omega-3-rasvahappojen tapauksessa terveyshyödyt lisääntyvät saannin kasvaessa, mikä täytyy ottaa huomioon riskien ja hyötyjen arvioinnissa. Erityisesti nämä hyödyt tulevat esille ikääntyvän väestön sydän- ja verisuonisairauksia tarkasteltaessa. Ikääntyneille myöskään edellä mainitut herkimät sikiöön tai lapsiin liittyvät vierasaineiden häirtavaikutukset eivät ole relevantteja. Lisäksi omega-3-rasvahapoilla on havaittu dioksiini- ja PCB sekä PFAS-yhdisteiden vaikutuksille käänteisesti nuorten miesten kiivesten toiminnan parantumista sekä lasten infektoiden vähentymistä ja immuniteetin kypsymisen nopeutumista. Rasvahapot metaboloituvat elimistössä nopeasti, kun taas tutkitut vierasaineet kertyvät elimistöön. Tämän hankkeen resurssien puitteissa ei ollut mahdollista sisällyttää arvioon näitä suojaavia, mutta nopeasti elimistöä poistuvia tekijöitä koko laajuudessaan erityisesti tilanteissa, missä kalaöljyjen terveyshyödyt kasvaisivat myös vierasaineiden TWI-arvot ylittävillä kalankäyttömäärillä. Siksi riski-hyöty-arvion mallin päivittäminen myöhemmin tältä osin olisi tarpeellinen jatkohanke.

2.3.1.2 Pitoisuustietojen painotus altistuksen arvioinnissa

Koska kalojen pitoisuudet vaihtelevat eri kalastusalueiden välillä, pitoisuudet painotettiin alueittain saaliin (kaupallinen kalastus ja vapaa-ajankalastus, tarvittaessa myös tuonti) suhteessa, jotta tulos kuvaisi tyypillistä suomalaisen altistusta. Pyyntimäärätietoina käytettiin koostetta Luken julkaisemista tilastoista (SVT: Luonnonvarakeskus). Pitoisuusaineiston rajoitteiden vuoksi tarkastelu rajoittui useimpien lajien kohdalla jaotteluun merestä tai sisävesialueilta pyydetyn kalan välille, ja silakan tapauksessa alle 17 cm pitkien ja tätä suurempien silakoiden välille, turvallisia kalankäyttömääriä arvioi-

taessa myös 19 cm silakoiden mukaan. Suuria silakoita on saaliista kuitenkin niin vähän, että niiden tarkempi erottelu katsottiin altistuksen arvioinnissa ja näytemäärän rajoissa aiheettomaksi. Käytetyt painokertoimet on esitetty Taulukossa 9.

Taulukko 9. Kaupallisen ja vapaa-ajan kalastuksen saaliiden jakautuminen alueittain Luken julkaisemien tilastojen mukaan. Altistusta arvioitaessa pitoisuustiedot painotettiin alueittain esitetyn mukaisesti. Taulukossa ovat aakkosjärjestyksessä FinRavinto 2017-ruoankäyttöaineiston kotimaiset lajit sekä niiden jälkeen käytetyimmät ske-naarioiden muut lajit.

Laji	Meri	Sisävedet	Muu jaottelu
Ahven	29 %	71 %	
Hauki	14 %	86 %	
Kirjolohi	7 %	80 %	Tuonti: 13 %
Lohi	1 %	1 %	Tuonti: 98 %
Muikku	13 %	87 %	
Silakka	100 %	-	<17 cm: 91,6 %; yli 17 cm: 8,4 %*
Siika	45 %	54 %	
Kuha	18 %	82 %	
Lahna	31 %	69 %	
Särki	23 %	77 %	

* Silakan kokojakaumaa koskevat tiedot: Jari Raitaniemi, Luke (henkilökohtainen tiedonanto).

2.3.1.3 Tausta-altistus muusta ruokavaliosta

Riski-hyötyarviota varten ja turvallisten käyttömäärien arvioimiseksi riskiryhmään kuuluville tarvittiin tietoa tausta-altistuksen suuruudesta (Taulukko 10). Tausta-altistuksella tarkoitetaan tässä tutkitun aineen saantia koko muusta ruokavaliosta paitsi kalasta. Tutkitun ikäryhmän keskiarvoaltistus, josta vähennettiin kalasta tuleva osuus, koottiin kansallisista riskinarvioinneista (Suomi ym. 2015, Suomi ym. 2020), EFSA:n altistuksenarvioinneista (EFSA 2018, EFSA 2020), FinRavinto 2017 -julkaisusta (Valsta ym. toim. 2018) sekä DIPP- ja Yläkoululaisten ravitsemus ja hyvinvointi -tutkimusten raporteista (Kyttälä ym. 2008; Hoppu ym. 2008). Koska tässä työssä oli käytettävissä altistuksen arviointiin vain aikuisia koskeva ruoankäyttöaineisto, alle 18-vuotiaiden altistus kalasta perustuu samoihin lähteisiin kuin tausta-altistusta koskevat tiedot. Ravintoaineiden saannista on julkaistu tuoreempia arvioita (DAGIS-tutkimus

lasten ruoankäytöstä, Skaffari ym. 2019, sekä Nuorten ravitsemusseurannan esitutkimus, Väisänen ym. 2023). Näillä aineistoilla ei ole kuitenkaan toistaiseksi arvioitu vierasainealtistusta koko ruokavaliosta.

Taulukko 10. Muusta kuin kalasta saatavan altistuksen suuruus siinä yksikössä, jossa tekijän vertailuarvo on esitetty. Lähteessä ilmoitetusta (LB-) kokonaisaltistuksesta on vähennetty kalan osuus sillä tarkkuudella kuin lähteen tiedot sallivat. Metyylielohopean tapauksessa tausta-altistus koostuu äyriäisistä ja nilviäisistä. Hyötyaineiden arvot ilman ravintolisien osuutta.

Tekijä (yksikkö)	1v	3–6v	Yläkoululaiset	Aikuiset
MeHg (µg/kg rp/viikko) ^{a,b}	0	0,17	ei tietoa	0,007
iAs (µg/kg rp/vrk) ^{a,b}	0,24	0,17	ei tietoa	0,14
PFAS4 (ng/kg rp/viikko) ^c	24,9	9,2 ⁱ	3,4 ⁱ	3,1
Dioksiinit ja dl-PCB (pg TEQ/kg rp/viikko) ^d	6,7	6,0	3,1	2,4
D-vitamiini (µg/vrk) ^{e-g}	11,8	6,3–4,8 (tytöt); 6,5–5,5 (pojat) ^j	4,1 (tytöt); 5,7 (pojat) ^k	5,7 (naiset); 9,0 (miehet)
EPA+DHA (mg/vrk) ^{e,f,h}	50 ^j	295 ^{i,k}	380	120 (naiset); 170 (miehet)

a. Suomi ym. 2015; b. Suomi ym. 2020; c. EFSA 2020; d. EFSA 2018; e. Kyttälä ym. 2008; f. Hoppu ym. 2008; g. Valsta ym. 2018; h. THL 2021; i. Kalan osuudeksi kokonaisaltistuksesta arvioitu 3-vuotiailla nuorempien lasten tapaan 8 % ja teini-ikäisillä keskiarvo lasten ja aikuisten osuuksista, 26 %. j. Näiden rasvahappojen osuus n-3 rasvahappojen saannista arvioitu Uusitalo ym. (2013) osuuksilla, ja kalan osuus oletettu samaksi kuin yläkoululaisilla. k. Skaffari ym. 2019 D-vitamiinin taustasaanti tytöillä 7,9 ja pojilla 8,6 µg/vrk ja EPA+DHA-taustasaanti n. 31 mg/vrk. k. Väisänen ym. 2023 mukaan 12-18-vuotiailla tytöillä koko ruokavaliosta 8,6 ja pojilla 14,6 µg/vrk, kalan osuus ei ollut eroteltavissa raportista.

Tietolähteinä käytettiin ensisijaisesti kansallisia riskinarviointeja ja toissijaisesti EFSA:n julkaisuja, joiden aineistona ovat koko EU-alueelta kootut viranomaisvalvonnan pitoisuustiedot ja jotka suuriin jäsenvaltioihin painottuessaan kuvastavat paremmin keskieurooppalaista altistusta kuin Suomen tilannetta. Ne ovat kuitenkin dioksiinien ja PFAS-yhdisteiden osalta tuoreimmat koko suomalaisten ruokavaliota kuvastavat arviot, sillä kansallisissa arvioissa on enimmäkseen keskitytty vain rajattuun elintarvikejoukkoon. Kaikissa näissä Suomea koskevissa (EFSA:n) kirjallisuustiedoissa aikuisten ruoankäyttö perustui vuonna 2012 tehtyyn FinRavinto 2012 -tutkimukseen.

Lasten ja nuorten ruoankäyttötiedot oli koottu 2000-luvun ensimmäisellä vuosikymmenellä. Kirjallisuustiedoissa analyysimenetelmän määrittämissä rajoissa alle jäävät tulokset oli käsitelty LB- tai UB-skenaarioilla eli laskemalla tällainen näyte arvona 0 (LB) tai määrittämissä rajoissa (UB). Todellinen arvo on jossakin näiden ääripäiden välillä, mutta yksinkertaisuuden vuoksi tässä työssä käytettiin kirjallisuustietojen LB-arvoja tausta-altistuksen määrittämiseen (Taulukko 10). Tässä työssä tehdyissä altistuksenarvioinneissa käytetyt BIKE- ja BASE-mallit (kts. 2.3.2) tuottavat realistisempaa arviota, jossa kaikki jostakin elintarvikkeesta mitatut näytteet kuuluvat samaan pitoisuusjakaumaan. Myös määrittämissä rajoissa olevat tulokset ovat osa tätä samaa jakaumaa, mutta ne sijaitsevat jakaumalla nollan ja määrittämissä rajoissa välillä.

Kirjallisuustiedon käyttöön sisältyy joitakin tunnistettuja epävarmuuden lähteitä. Eri laskentamalleilla tuotettujen tulosten yhdistäminen sekä eri ruoankäyttöaineistoja käyttäen arvioitujen altistusmäärien tai eri tietolähteistä koottujen tausta- ja kokonaisaltistusmäärien vertaileminen tuo lopputulokseen jonkin verran ylimääräistä epävarmuutta, jota ei tiedonpuutteiden vuoksi ollut mahdollista välttää. Riskinarvioinnit perustuivat arseenin osalta valtaosin ja elohopean osalta kokonaan raskasmetallin kokonaismääränä mitattuihin tuloksiin, joista epäorgaanisen arseenin ja metyylielohopean osuudet arvioitiin vakio-oletuksella raporteissa kuvatulla tavalla. Näiden vakio-osuuksien käytön vuoksi etenkin arseeniarvioon liittyy epävarmuutta. Metyylielohopean ainoaksi lähteeksi katsottiin kala ja meren antimet. Meren antimien osuus kokonaisaltistuksesta oli vähäinen, joten tässä työssä voitiin epävarmuus minimoida hyödyntämällä EU-kalat IV -hankkeessa mitattuja metyylielohopean osuuksia eri kalalajeista. Yksityiskohtaisemman tiedon puuttuessa arvioitiin, että kalan osuus PFAS-yhdisteiden kokonaissaannista olisi 3–6-vuotiailla sama kuin 1-vuotiailla eli 8 % (EFSA 2020), vaikka se voi yliarvioida tausta-altistuksen osuutta, sillä DIPP-ruoankäyttöaineistossa leikkiikäiset syövät enemmän kalaa kuin 1-vuotiaat. Teini-ikäisille kalan osuudeksi käytettiin arvoa 26 %, joka on keskiarvo 1-vuotiaiden ja aikuisten arvoista. Dioksiinien ja dl-PCB-yhdisteiden osalta oletettiin, että kalojen suhteelliset osuudet altistuksesta (EFSA 2018) ovat samat riippumatta siitä, onko arviossa mukana 17 vai 29 kongeneeria. Kalan osuus omega-3-rasvahappojen saannista oli osassa kirjallisuuslähteitä saatavilla vain kaikkien omega-3-rasvahappojen tasolla ja osassa myös oleellisimpien yksittäisten rasvahappojen EPA ja DHA tasolla. Ellei kalan osuutta yksittäisten rasvahappojen saannista ollut laskettavissa suoraan, käytettiin samaa osuutta kuin kaikille omega-3-rasvahapoille.

2.3.1.4 Biomonitorointitulokset suomalaisten verestä

Arviossa turvallisista eri kalalajien käyttömääristä riskiryhmille havaittiin, että EFSA:n raporteissa julkaistut suomalaisen kuluttajan altistusmäärät PFAS-yhdisteille ja dioksiineille olivat niin suuret, että jo tausta-altistus muusta ruokavaliosta kuin kalasta ylitti TWI-arvon. Toisaalta THL:n toteuttamissa kansallisissa biomonitorointitutkimuksissa

on havaittu, että suomalaislasten seerumin pitoisuudet ovat pienempiä kuin EFSA arvioi elintarvikkeista lasketun altistuksen perusteella. Tämä indikoi EFSA:n yliarvioivan kriittisen kohdeväestön altistusta. Otoksessa 7–10 vuotiaita suomalaisia lapsia, joiden verinäytteet kerättiin 2014–2018, dioksiinien ja PCB-yhdisteiden seerumin summapiitoisuus oli keskimäärin 2,4 pg TEQ/g rasvaa kohti laskettuna. Tämä on vain 34 % EFSA:n määrittämästä kriittisestä pitoisuudesta 7 pg TEQ/g rasvaa. Kriittinen pitoisuus ylittyi vain 3 %:lla tutkittavista. EFSA sen sijaan arvioi, että jo lasten keskiarvoaltistus ylitti TWI-arvon. Vastaavasti otoksessa vuonna 2020 yhden vuoden ikäisiä lapsia neljän PFAS-yhdisteen summapiitoisuus seerumissa oli keskimäärin 3,6 ng/ml, eli vain 21 % EFSA:n määrittämästä kriittisestä pitoisuudesta 17,5 ng/ml. Myös PFAS-yhdisteiden osalta EFSA arvioi, että lasten keskimääräinen saanti elintarvikkeista ylitti TWI-arvon.

Biomonitorointitulokset tarkastelevat kuluttajan toteutunutta altistusta kaikista mahdollisista altistuslähteistä, kun ruoankäyttöön ja pitoisuuksiin perustuvat arviot tarkastelevat vain elintarvikeperäistä altistusta. Tulokset siis täydentävät toisiaan.

Tämän huomioiden päädyttiin tekemään eri kalalajien turvallisia käyttömääriä koskeva arvio oletuksella, että dioksiineille ja PFAS-yhdisteille tausta-altistus on suuruudeltaan verestä mitattujen keskiarvomäärien ja TWI-arvon määrittämisessä käytetyn kriittisen veripitoisuuden suhde. Arvioon liittyvää epävarmuutta kompensoi se, että mittaustuloksiin perustuvassa tausta-altistuksessa on mukana toteutuneesta kalankäytöstä tulevaa altistusta. Tausta-altistus metyylielohopealle muista lähteistä kuin kalasta on hyvin vähäistä, joten metyylielohopeaa koskevassa arviossa oletuksena on (turvallisten käyttömäärien laskennassa tyypilliseen tapaan), että altistus kalasta ja muusta ruokavaliosta yhteensä on 95 %:n todennäköisyydellä enintään TWI-arvon suuruinen.

2.3.1.5 Riski-hyötyarvion käyttämät tiedot

Riski-hyötyarvio perustui tässä hankkeessa mitattujen pitoisuustietojen sekä luvussa 2.1.4 kuvattujen täydentävien aineistojen ja FinRavinto 2017 -ruoankäyttöaineiston avulla laskettuun arvioon suomalaisten aikuisten altistuksesta vierasaineille ja hyötyaineiden saannista kalasta sekä luvussa 2.3.1.3 määriteltyyn tausta-altistukseen muusta ruokavaliosta. Muiden ikäluokkien osalta vastaavat tiedot perustuivat tausta-altistuksen yhteydessä kuvattuihin aineistoihin.

Riski-hyötyarvion annosvasteet ja haittapainotettujen elinvuosien määrät tapausta kohden pidettiin valtaosin samoina kuin Opasnetissä saatavilla olevassa tietokiteessä PFAS-yhdisteiden tautitaakka (THL 2021), sekä tietokiteen koostamien taustatietojen tuoreuden että arvioiden vertailtavuuden vuoksi. Suurin osa annosvasteista on raportoitu jo aiemmin (Tuomisto ym. 2020). Lisäksi laskettiin erikseen epäorgaanisen arseenin tautitaakka toisaalla julkaistun mallin ja annosvasteiden (Jakobsen ym. 2020)

avulla. Tässä raportissa esitetyn arvion erot tietokiteessä esitettyihin tuloksiin johtuvat pääosin pitoisuusaineiston sekä ruoankäyttöaineiston eroista. Mallin syötteitä on kuvattu tarkemmin Liitteessä 4.

Arviossa käytetyt Suomen haittapainotetut elinvuodet riskitekijän (mm. eri syöpätyypit) mukaan olivat peräisin Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) tietokannasta (IHME 2020). Syöpärekisteristä ladattiin vuosien 2016–2020 tiedot syöpäkuolemista ja uusien syöpätapauksien ilmaantuvuudesta viisivuotis-ikäryhmittäin (Suomen Syöpärekisteri, 2022).

2.3.2 Riskinarvioinnin mallit

2.3.2.1 Riski-hyötyarvion syötteenä käytetyn altistuksen laskenta

Altistuksen arviointi kotimaisen kalan käytöstä tehtiin Ruokaviraston Riskinarvioinnin yksikössä kehitetyllä BIKE-mallilla (Ranta ym. 2021), joka on muokattu R Shiny App-pohjaiseksi online-työkaluksi (Ranta ym. 2023). Malliin syötetään yksilö- ja päiväta-soinen, painotiedot sisältävä ruoankäyttöaineisto sekä näytetasoiset pitoisuustiedot tutkittavista elintarvikkeista. Näistä mallinnetaan jakauma sekä tutkitun väestön ruoankäytölle että elintarvikevaarojen pitoisuuksille. Koska määritysrajan alle olevat pitoisuudet sisältyvät samaan jakaumaan kuin kyseisen elintarvikkeen numeeriset tulokset, altistuksen ala- ja ylärajaa kuvaavat LB- ja UB-skenaariot (eli määritysrajan alle olevan arvon korvaaminen nolllalla tai määritysrajaa vastaavalla pitoisuudella) eivät ole tarpeen.

BIKE-mallia ei voitu käyttää tuontikalasta saatavan altistuksen laskemiseen, sillä pitoisuustietoja oli kirjallisuudesta saatavilla vain keskiarvoina. Siksi tuontikalasta saatu altistus arvioitiin deterministisesti Finravinto 2017 -aineiston tuontikalajojen kulutuksesta, ja kokonaisaltistus kalan käytöstä laskettiin summana kotimaisista kaloista ja tuontikalajoista saadusta altistuksesta. Riski-hyötyarviota varten määritettiin myös kokonaisaltistus aineelle koko ruokavaliosta Riskinarvioinnin taustatiedot -osiossa kuvatusta muun ruokavalion osuuden sekä kaloista saatavan kokonaisaltistuksen summana. Tarkkuudeltaan erilaisten tietojen yhdistäminen tuo arvioon epävarmuutta, jota ei tiedon puutteiden vuoksi ollut mahdollista välttää.

2.3.2.2 Kulutuskenaarioissa ja turvallisten käyttömäärien laskennassa käytetty malli

Keskivertokuluttajan altistus tulevaisuuden kalankulutusskenaarioilla (Liite 3) arvioitiin Ruokaviraston Riskinarvioinnin yksikössä kehitetyllä BASE-mallilla (www.ruokavirasto.fi/teemat/riskinarviointi/risk-assessment-tools/), jota on kuvattu tarkemmin Liitteessä 4. Mallin syötteinä ovat pitoisuusaineisto, eri aineiden toksikologiset raja-arvot

(käytännössä TDI:n ja tausta-altistuksen erotus), tarkasteltavan väestöryhmän keski-vertokuluttajan paino, skenaarion mukainen kokonaiskulutus sekä kulutusmäärien painokertoimina pitoisuusaineistoon sisältyvien kalalajien tai kala–pyyntialue-erittelyjen suhteelliset osuudet. Tulos kuvaa kalaa skenaarion mukaisesti käyttävän keski-vertokuluttajan altistusta.

Kalalaji- tai laji–alue-kohtaisia turvallisia käyttömääriä laskettaessa BASE-mallin syötteet ovat muuten samat, mutta skenaarion mukainen kokonaiskulutus ja painokertoimet eivät ole välttämätön tieto.

2.3.2.3 Riski-hyötyarvio

Riski-hyötyarviossa verrataan haitallisten tekijöiden aiheuttamaa terveyshaittaa (positiivinen tautitaakka) terveyshyötyjä aiheuttavien tekijöiden negatiiviseen tautitaakkaan. Tautitaakka (BoD, burden of disease) on taudin vuoksi menetettyjen elinvuosien (YLL, years of life lost) ja taudin vuoksi menetetyin elämänlaadun (YLD, years of life with disease) summa. Sen yksikkö on haittapainotettu elinvuosi (DALY).

Käytettävissä olevien hyötyjen ja haittojen annosvastetietojen vinous voi vaikuttaa jonkin verran ikäryhmäkohtaisiin arvioihin, mahdollisesti nuorimpien ikäryhmien terveyshyötyjä aliarvioiden, mutta tiedon puutteiden ja mallien kehittämiseen käytettävien resurssien puutteen vuoksi mahdollisen vääristymän suuruutta ei voida arvioida. Tautitaakka-arvio kuvastaa siis parhaita saatavilla olevaa tietoa. Myöhemmin hyödyllisten tai haitallisten tekijöiden vaikutuksia koskevan tiedon karttuessa nyt tehtyä arviota voi olla tarpeen tarkentaa.

Epäorgaanisen arseenin tautitaakka arvioitiin erillään muusta riski-hyötyarviosta, koska se ei sisällynyt THL:n tietokiteessä tarkasteltuihin tekijöihin. Se laskettiin Jakobson ym. (2020) julkaiseman mallin mukaisesti. Elinaikaisen iAs-altistuksen aiheuttama elinaikaisen syöpäriskin kasvu laskettiin käyttäen artikkelin taulukossa 2 julkaistuja annosvastekertoimia. Altistukseen liittyvien syöpien vuotuinen esiintyvyys määritettiin kullekin syöpätyypeistä ja kummallekin sukupuolelle (kaavassa sp) erikseen:

$$\text{Esiintyvyys}_{\text{syöpä,sp}} = \frac{\text{väestön koko}_{\text{sp}} * \text{syöpäriskin kasvu annoksella}_{\text{syöpä,sp}}}{\text{elinajanodote}}$$

Ylimääräinen syöpäriski laskettiin altistuksen perusteella kolmelle syöpätyypille (hengityselimistön syövät, virtsarakon ja virtsateiden syövät, sekä ei-melanoomatyypiset ihosyövät). Elinajanodotteen arvo Suomessa on naisille 82,5 ja miehille 80 vuotta. Väestön koko sukupuolittain eriteltynä perustui Suomen virallisiin tilastoihin, ja elinaikainen altistus muista elintarvikkeista kuin kalasta arvioitiin kansallisten riskinarviointien (Suomi ym. 2015, Suomi ym. 2020) elintarviketasoisesta raakadatasta. Tautitaakan

katsottiin koostuvan kokonaisuudessaan em. syöpätyyppien ilmaantuvuudesta, ja niille määritettiin kokonaistautitaakka todettua tapausta kohden ottamatta kantaa syövään alkulähteeseen (arseenialtistus tai muu syy); tietolähteinä olivat edellä kuvatut IHME UW:n tautitaakka-arviot (IHME 2020) ja Syöpärekisteri (Syöpärekisteri 2019). Arseenialtistuksesta aiheutuva tautitaakka laskettiin tämän jälkeen ylimääräisen syöpäriskin tapausmääristä ja kunkin syöpätapausten tautitaakasta.

Kalan käyttöön liittyvä altistus epäorgaaniselle arseenille arvioitiin kertomalla kansallisten riskinarviointien kalalajikohtaiset altistumäärät tuolloin käytetyn pitoisuuden ja päivitetyn pitoisuustiedon suhteella, koska aiempien riskinarviointien yksilökohtaisten DIPP- ja FinRavinto 2012 -ruoankäyttötietojen hyödyntämiselle tässä tutkimuksessa ei ollut lupaa. Päivitettyinä pitoisuustietoina olivat tuontikaloille sekä äyriäisille, nilviäisille ja mädille EFSA:n raportin (EFSA 2021b) liitteessä B julkaistut pitoisuuskeskiarvot sekä tämän hankkeen tulokset. Koska kotimaisissa kalanäytteissä yhdenkään näytteen pitoisuus ei ylittänyt analyysimenetelmän määritysrajaa 0,01 mg/kg, arvio epäorgaanisen arseenin tautitaakasta laskettiin sekä suurimpana mahdollisena arviona (= kaiken kotimaisen kalan pitoisuutena 0,01 mg/kg) eli UB-skenaariolla että vertailun vuoksi EFSA:n julkaisemilla eurooppalaisilla LB-keskiarvopitoisuuksilla.

3 Tulokset

3.1 Pitoisuudet

Tässä kappaleessa on esitetty kuvien avulla oleellisimpia tuloksia. Tulokset on lisäksi taulukoitu Liitteessä 1. Kaikissa luvun 3.1 kuvaajissa tummansininen pallo osoittaa tulosten mediaania tai ainoaa tällä jaottelulla mitattua tulosta. Jos mittaustuloksia on useampia, ne on esitetty haaleampina palloina. Viikset esittävät vaihteluväliä kvanttilien 25 ja 75 välillä (P25–P75). Sininen katkoviiva osoittaa sallittua enimmäismäärää.

3.1.1 Dioksiinit, PCB-yhdisteet, PBDE-yhdisteet, HBCD ja PFAS-yhdisteet

3.1.1.1 Pitoisuuksien muutos Itämerellä 2002–2023

Pitoisuuksien muutosten tarkastelu on rajattu merialueilta kerättyihin näytteisiin, koska näytteenottoaikat merellä pysyivät melko samana vuosina 2002–2023, ja näytemäärä merialueilla oli riittävä. Järvialueilla näytteitä kerättiin vähemmän, ja näytteenottoaikoissa oli vaihtelua, joten tulokset eivät luotettavasti kerro ajallisista muutoksista kalojen pitoisuuksissa.

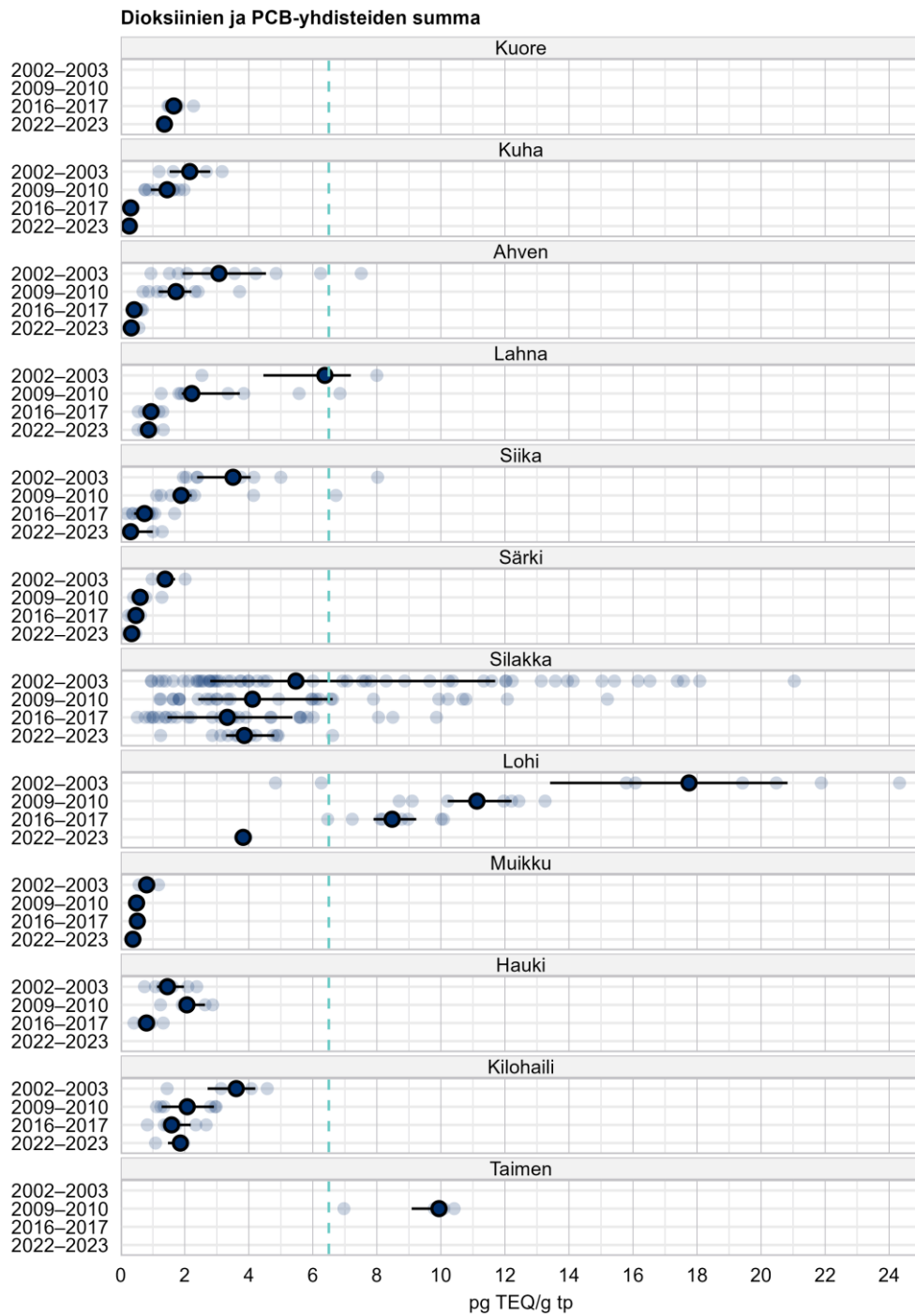
Kaikkien hankkeiden koko näyteaineistoa tarkastellessa sekä dioksiinien että dioksiinien ja PCB-yhdisteiden summan pitoisuudet olivat tässä hankkeessa raja-arvojen alapuolella kaikissa kalalajeissa. Ne olivat myös laskeneet lähes kaikissa kalalajeissa (kuvio 2). Vain silakalla ja kilohaililla mitatut pitoisuudet ovat EU-kalat III- ja EU-kalat IV -hankkeiden välillä nousseet, mutta tämä johtuu pitkälti siitä, että EU-kalat IV -hankkeessa näytteenotto painottui suurempiin kokoluokkiin, mikä nostaa koko näyteaineistosta mitattuja pitoisuuksia.

Indikaattori-PCB-yhdisteiden trendi muistutti PCB-TEQ-yhdisteiden trendiä (Liite 1 ja THL:n tietokanta <https://thl.fi/aiheet/ymparistoterveys/ymparistomyrkyt/tietokanta-kalan-sisaltamista-haitta-aineista>). PBDE-yhdisteiden pitoisuudet olivat hyvin pieniä ja laskevia tai vakaita kaikissa kalalajeissa (kuvio 3). HBCD mitattiin nyt ensimmäistä kertaa (Liite 1).

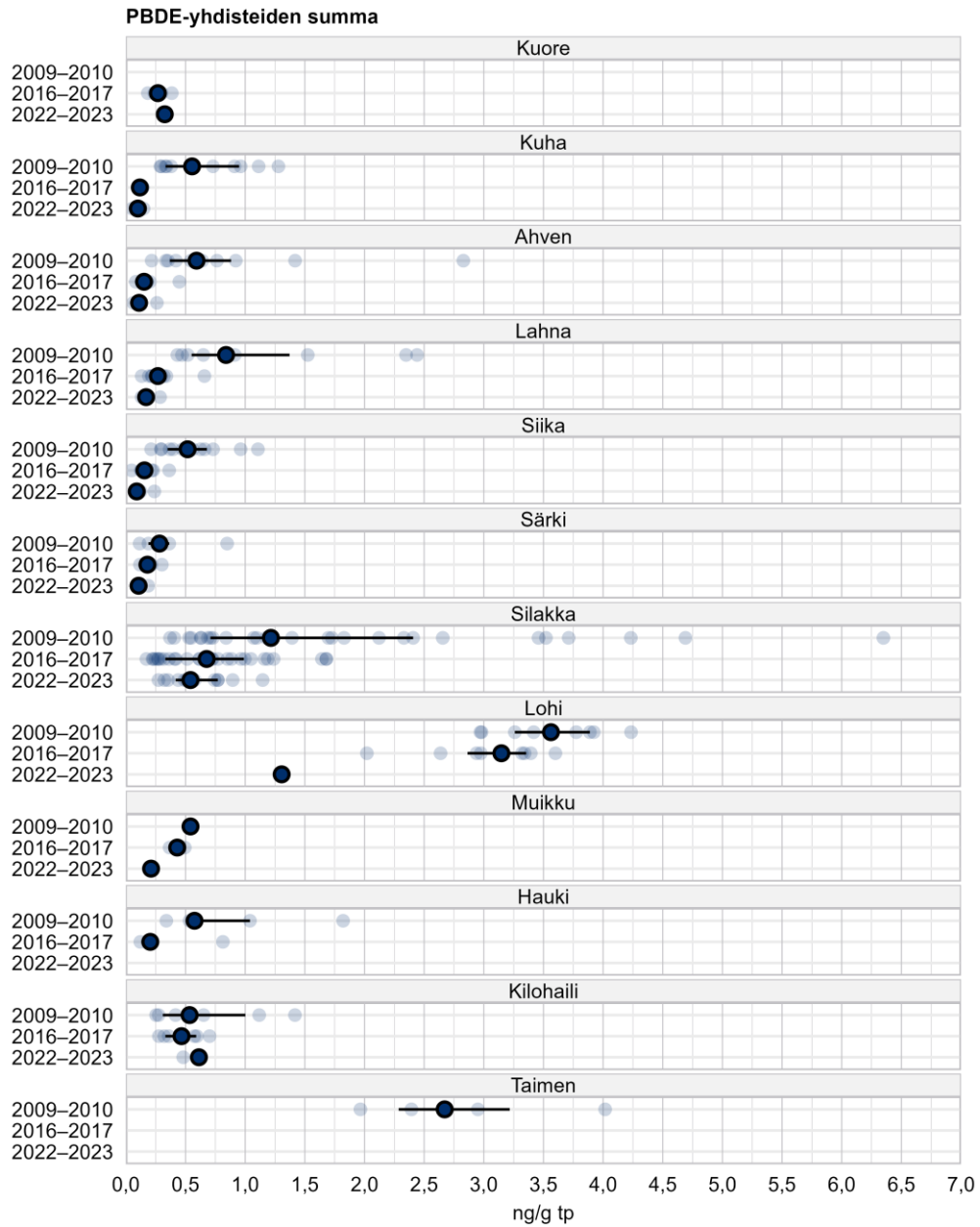
Silakkaa lukuun ottamatta kaikkien kalalajien PFAS- pitoisuudet olivat enimmäismäärien alapuolella. Silakan PFAS-pitoisuudet myös nousivat varsin voimakkaasti vuosien 2009 ja 2023 välillä. Myös ahvenen pitoisuudet nousivat, mutta selvästi vähemmän

(kuvio 4). Tuloksia lukiessa on syytä huomata, että PFAS-yhdisteiden enimmäismäärät ovat tutkituille luonnonkaloille kalalajista riippuen 8 µg/kg tp tai 45 µg/kg tp.

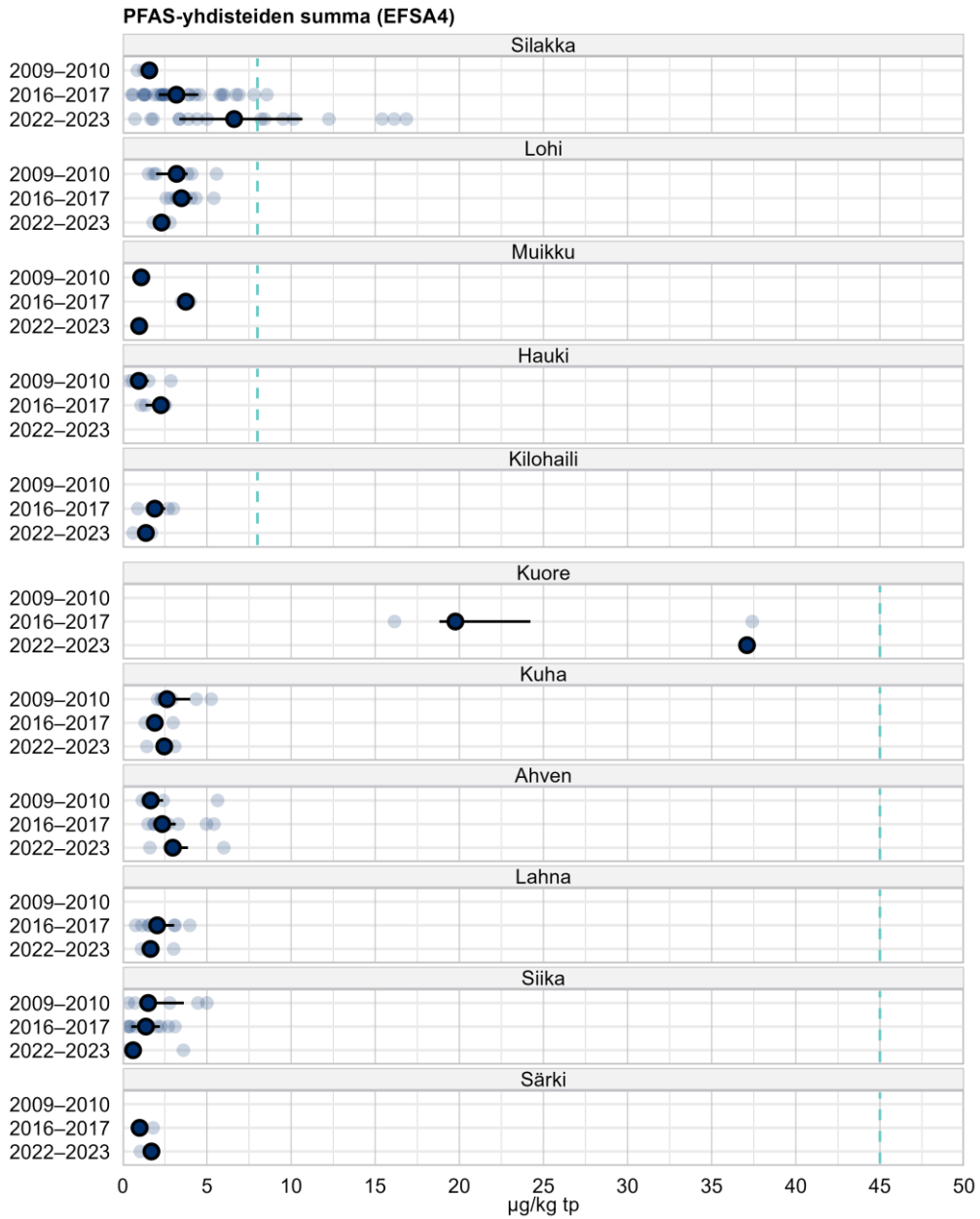
Kuvio 2. Dioksiinien ja PCB-yhdisteiden pitoisuuksien muutos Itämerellä 2002–2023.



Kuvio 3. PBDE-yhdisteiden pitoisuuksien muutos Itämerellä 2002–2023.



Kuvio 4. PFAS-yhdisteiden pitoisuuksien muutos Itämerellä 2009–2023.



3.1.1.2 Pitoisuuksien muutos ja kokoluokittainen tarkastelu silakalla 2002–2023

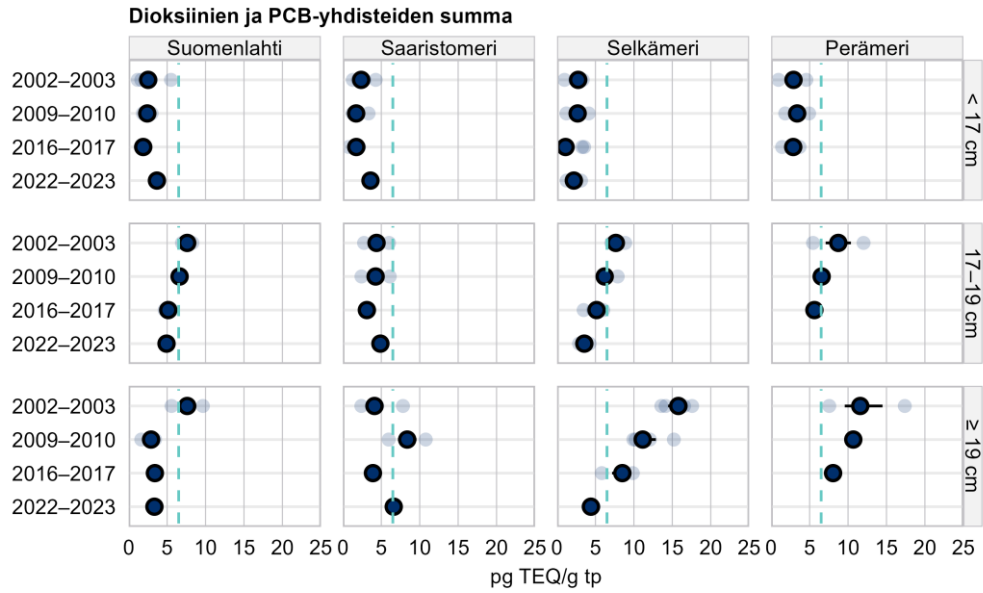
Dioksiinien ja PCB-yhdisteiden pitoisuus alle 17 cm silakassa on pysynyt hyvin vakaana vuosien 2002–2022 aikana (Kuvio 5). Lievä pitoisuuksien kasvu vuosien 2016–2022 välillä Suomenlahdella ja Saaristomerellä saattaa olla yksittäiseen näytteenottoon liittyvää sattumaa. Isommassa silakassa pitoisuudet ovat Selkämerellä tasanaisesti laskeneet. Saaristomerellä yli 19 cm silakan pitoisuudet ovat vaihdelleet enimmäismäärien molemmin puolin. Kaikkiaan dioksiinien ja PCB-yhdisteiden pitoisuudet silakassa näyttävät asettuneen kaikilla merialueilla ja kokoluokilla enimmäismäärien tuntumaan tai niiden alle. Dioksiinien tulokset ovat hyvin samanlaisia kuin dioksiini- ja PCB-yhdisteiden summalla, mutta suhteessa EU:n enimmäismääriin pitoisuudet ovat hieman korkeammat. Kaikki indikaattori-PCB yhdisteiden pitoisuudet ovat enimmäismäärien alapuolella (Liite 1).

Silakan PBDE-pitoisuudet ovat laskeneet kaikilla merialueilla ja kokoluokilla samalle tasolle (kuvio 6).

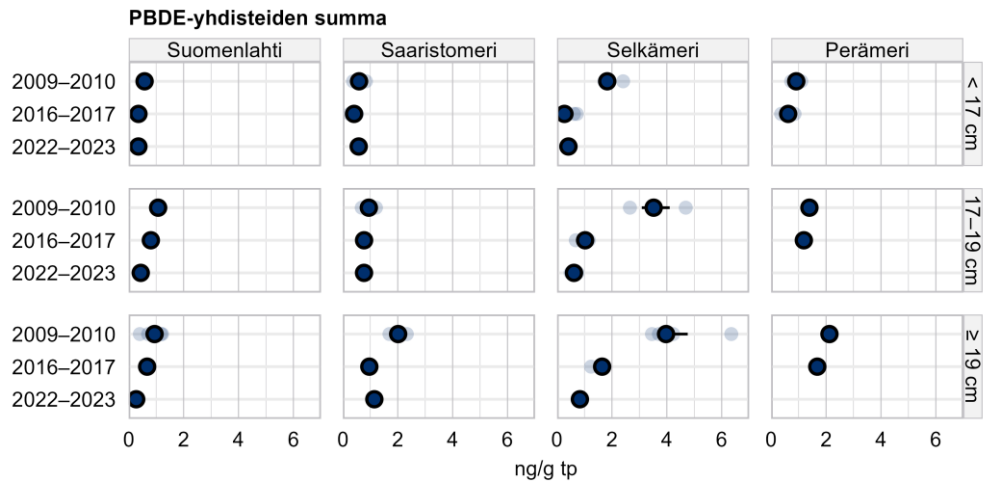
HBCD mitattiin tässä hankkeessa ensimmäistä kertaa, joten pitoisuuden muutoksiin ei voitu ottaa kantaa. Saaristomerellä ja Selkämerellä pitoisuudet kasvoivat silakan koon kasvaessa, mutta Suomenlahdella vastaavaa trendiä ei ollut (kuvio 7)

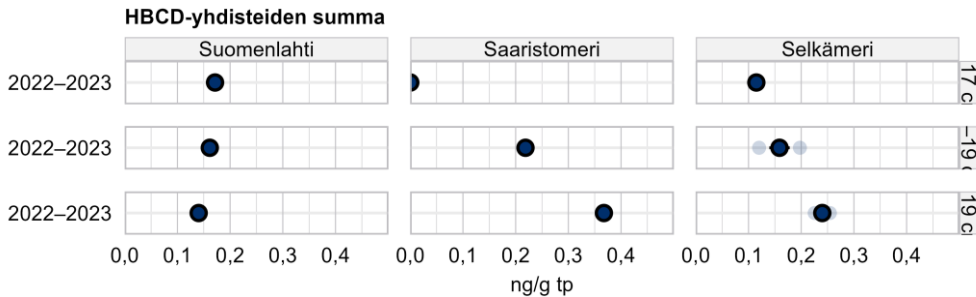
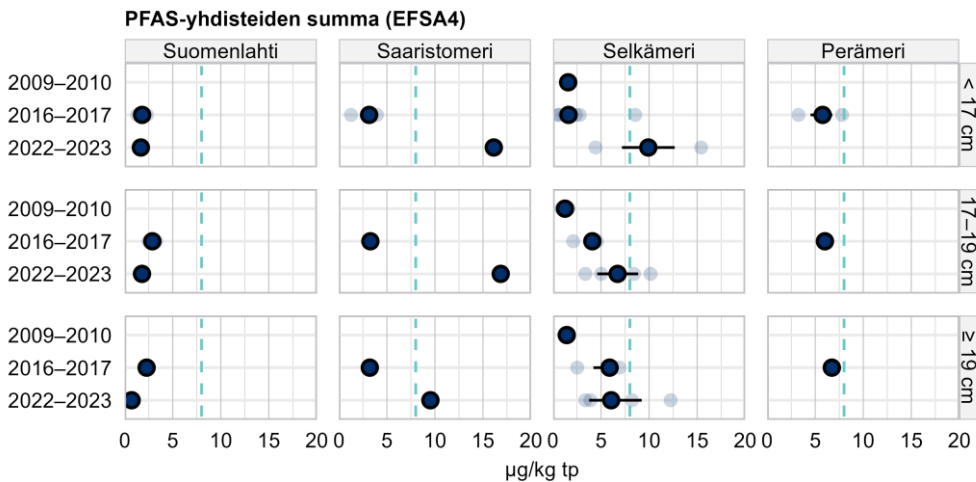
PFAS-pitoisuudet ovat nousseet merkittävästi kaikissa silakan kokoluokissa Saaristomerellä (2016–2023) ja Selkämerellä (2009–2023). Suomenlahdella muutosta ei ole havaittavissa (2016–2023) ja Perämereltä ei ole kuin vuoden 2016 tulokset (kuvio 8).

Kuvio 5. Dioksiinien ja PCB-yhdisteiden pitoisuuksien muutos silakalla 2002–2023 kokoluokittain.



Kuvio 6. PBDE-yhdisteiden pitoisuuksien muutos silakalla 2009–2023 kokoluokittain.



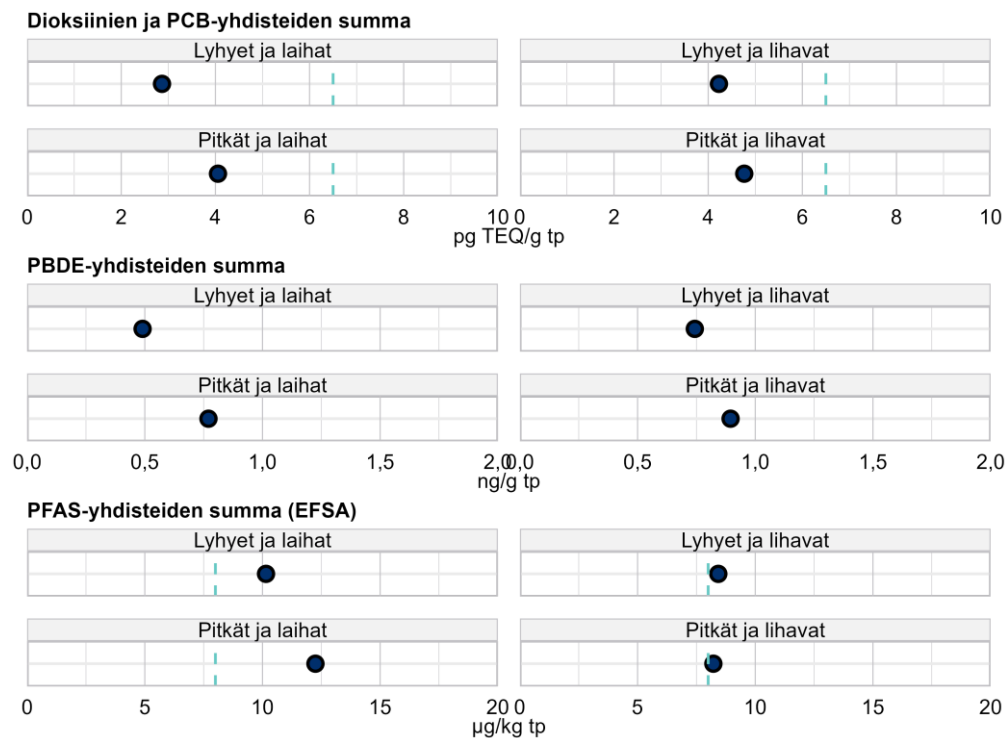
Kuvio 7. HBCD-yhdisteiden pitoisuudet silakalla 2022–2023 kokoluokittain.**Kuvio 8.** PFAS-yhdisteiden pitoisuuksien muutos silakalla 2009–2023 kokoluokittain.

3.1.1.3 Pituuden ja kuntokertoimen vaikutus silakan pitoisuuksiin

Rasvaliukoisilla dioksiini- ja PCB-yhdisteillä sekä PBDE-yhdisteillä samaan pituusluokkaan kuuluvilla silakoilla pitoisuus kasvoi kuntoluokan kasvaessa, eli suhteessa tuorepainoon lihavimmat kalat kerryttävät näitä yhdisteitä ympäristöstä selvästi nopeammin kuin laihat (kuvio 9). PFAS-yhdisteillä pitoisuudet päinvastoin pienentyvät kalan kuntoluokan kasvaessa. Lihavat ja laihat silakat olivat molemmissa tutkituissa kokoluokissa samanikäisiä, joten eri-ikäisten kalojen mahdollisesti erilainen ravintokäyttäytyminen ei selitä eroa. Pyyntialueiden ravintotutkimuksista tiedetään, että alkutalvella 2023 massiaisia oli enemmän kuin aikaisemmin. Lisäksi saman merialueen ja samojen kokoluokkien silakoista tiedetään, että PFAS-pitoisuudet nousivat paljon syksystä 2022 kevääseen 2023, mutta syksyn 2022 näytteenotossa silakoita ei kuitenkaan jaoteltu lihaviin ja laihoihin. On mahdollista, että myöhäissyksystä alkutalveen syystäyskierto nostaa pohjasta enemmän PFAS-pitoista materiaalia massiaisten mukana, ja se siirtyy talvella pohjan lähellä eläviin silakoihin ravinnon mukana. Tämä selettäisi sen, että PFAS-pitoisuudet nousevat talvella kaikilla kokoluokilla, mutta ei sitä,

että ne nousevat enemmän laihoilla silakoilla. Koska PFAS-yhdisteet eliminoituvat pääasiassa ulosteisiin enterohepaattisesta kierrosta, voidaan spekuloida, että enemmän massiisia syöville lihavilla silakoilla myös eliminaatio enterohepaattisesta kierrosta on tehokkaampaa kuin vähemmän syöville silakoilla, joilla reasorptio suolesta ja pidättyminen proteiinipitoisiin kudoksiin olisi hypoteettisesti siis suurempaa. Dioksiini- ja PCB-yhdisteet kertyvät rasvaan, mistä niiden remobilisaatio on vähäisempää kuin proteiineihin kertyvien ja voimakkaan enterohepaattisen kierron omaavien PFAS-yhdisteiden tapauksessa.

Kuvio 9. Selkämeren silakan pituuden ja kuntokerroimen vaikutus pitoisuuksiin. Kuntokerroin = $100 \times$ paino grammoina / pituus senttimetreinä³. Näytteitä kerättiin kahdessa pituusluokassa: lyhyet 18–18,9 cm ja pitkät 19–20,9 cm. Kummassakin pituusluokassa kalayksilöt jaettiin edelleen kuntokerroimen perusteella ns. laihoihin (kuntokerroin mediaania pienempi) ja lihaviin (kuntokerroin mediaania suurempi). Poolien pituudet ja pitoisuudet on kerrottu Liitteessä 1 ja Taulukossa 3.



3.1.1.4 Alueelliset erot merialueilla ja sisävesialueilla kalalajeittain

Dioksiini- ja PCB-yhdisteiden pitoisuudet olivat kaikilla tutkituilla kalalajeilla pienemmät järviolueilla kuin merialueilla. Lisäksi pitoisuudet olivat paljon enimmäismäärien alapuolella. Joissain kalatuotteissa tai kasvatetussa kalassa pitoisuudet olivat hieman suurempia kuin järvi/merikalassa (kuvio 10). Tilanne oli sama myös indikaattori-PCB yhdisteillä (Liite 1)

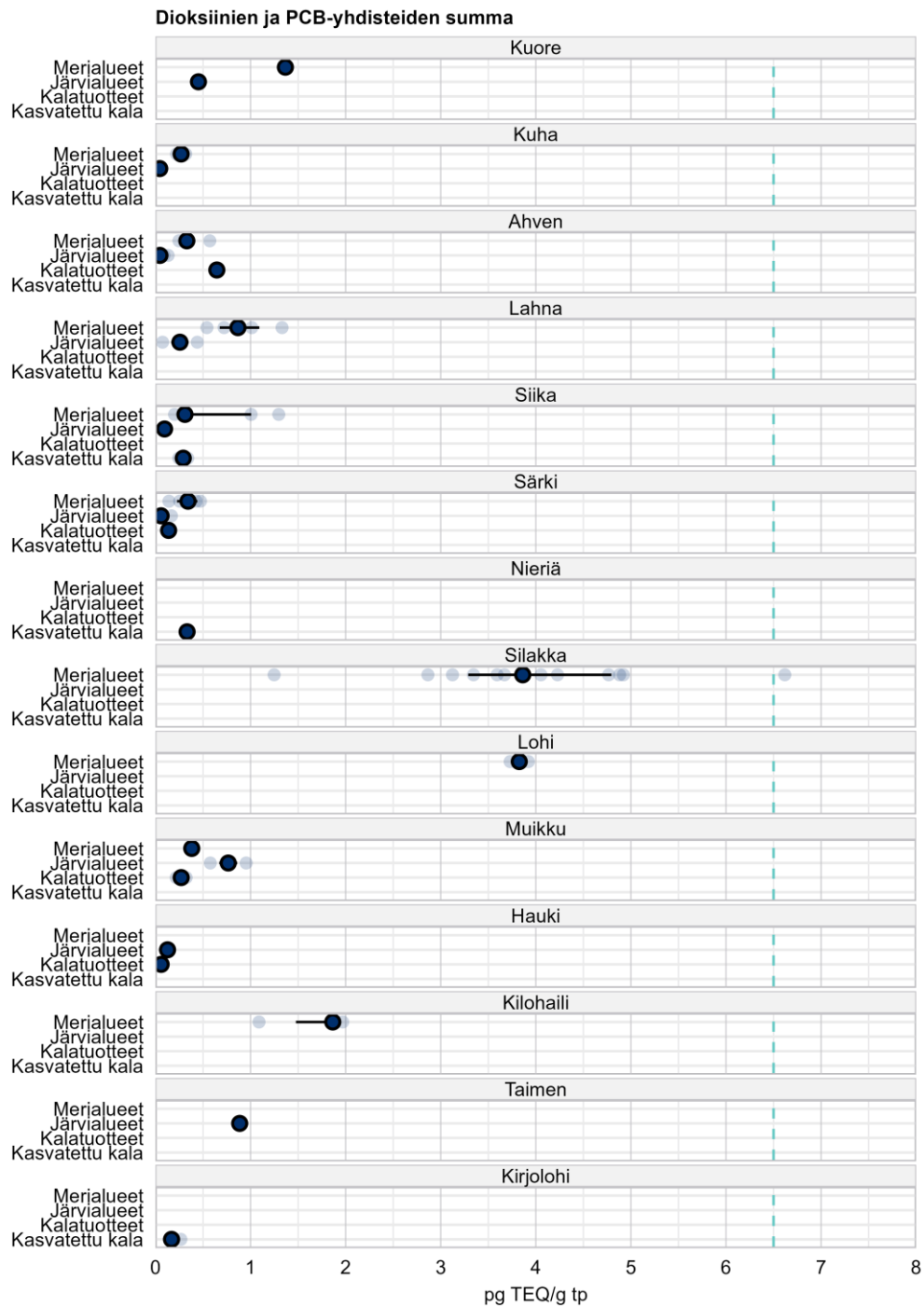
PBDE-yhdisteiden pitoisuudet olivat meri- ja järviolueilla, sekä kalatuotteissa ja kasvatetussa kalassa hyvin matalia kaikilla lajeilla. Kuten dioksiini- ja PCB-yhdisteillä, rasvaiset kalat keräsivät hieman enemmän PBDE-yhdisteitä kuin vähärasvaiset (kuvio 11). HBCD-yhdisteiden pitoisuudet olivat kaikissa näytteissä mitättömän pieniä (Liite 1)

Silakkaa ja merialueiden kuoretta lukuun ottamatta PFAS-yhdisteiden pitoisuudet olivat kaikissa tapauksissa selvästi enimmäismäärien alapuolella. Yhdessä ahventa käyttävässä kalatuotteessa PFAS-pitoisuus oli korkeampi kuin järvi- tai merialueen raakakalassa, mutta silti paljon enimmäismäärän alapuolella. Kuoreen korkea pitoisuus merialueilla on toistuva havainto, jonka syy vaatisi tarkempaa tutkimusta (kuvio 12).

Sisävesialueilla dioksiinien, PCB-yhdisteiden, HBCD-yhdisteiden tai PFAS-yhdisteiden pitoisuuksissa ei nähty merkittäviä eroja millään kalalajilla (Liite 1). Näytemäärä tosin rajoitti varsinaisen vertailun tekoa, sillä useimmilta alueilta käytettävissä oli vain yksi näyte. Verrattaessa kalalajeittain eri järviä (Liite 1), Lokan tekoaltaasta ja Pieli-sestä pyydetyissä näytteissä oli tyypillisesti pienemmät POP-yhdisteiden pitoisuudet kuin saman lajin Lappajärvestä ja Pyhäjärvestä pyydetyissä näytteissä. Muut sisävesistöt asettuvat näiden ääripäiden välille.

Luvussa 3.2 on vertailtu silakan ja ahvenen vierasainepitoisuuksia tämän hankkeen näytteiden ja SYKE:n KERTY-rekisterin näytteiden välillä ja alueittain.

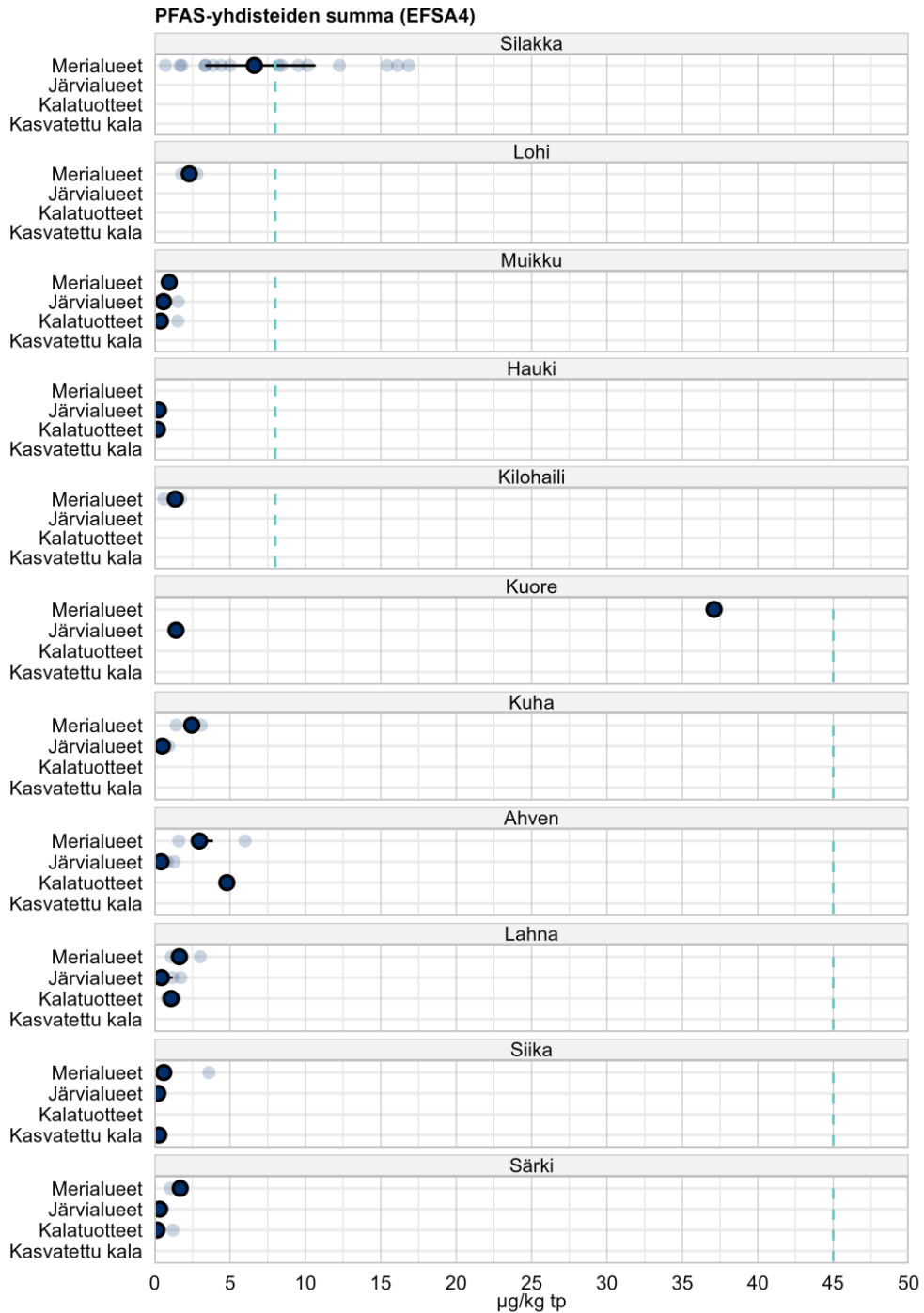
Kuvio 10. Dioksiinien ja PCB-yhdisteiden pitoisuus eri kalalajeissa vuosina 2022–2023.



Kuvio 11. PBDE-yhdisteiden pitoisuus eri kalalajeissa vuosina 2022–2023.



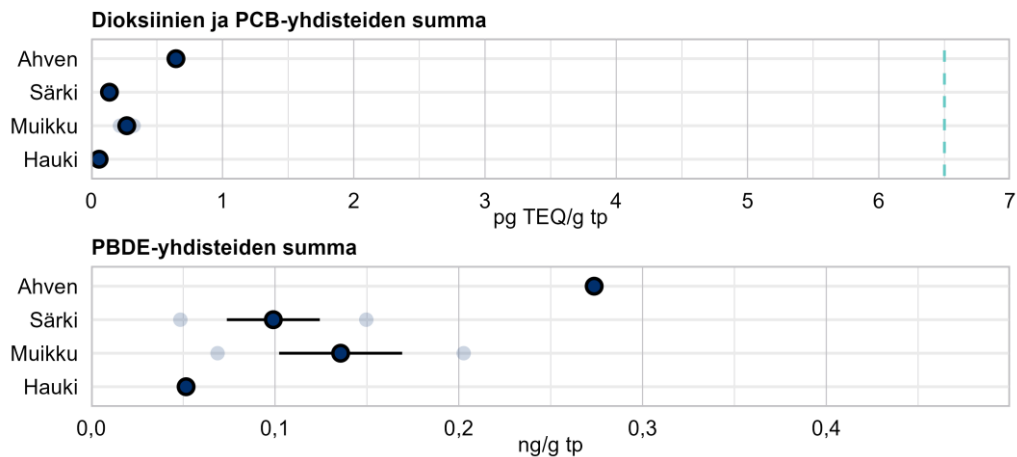
Kuvio 12. PFAS-yhdisteiden pitoisuus eri kalalajeissa vuosina 2022–2023.



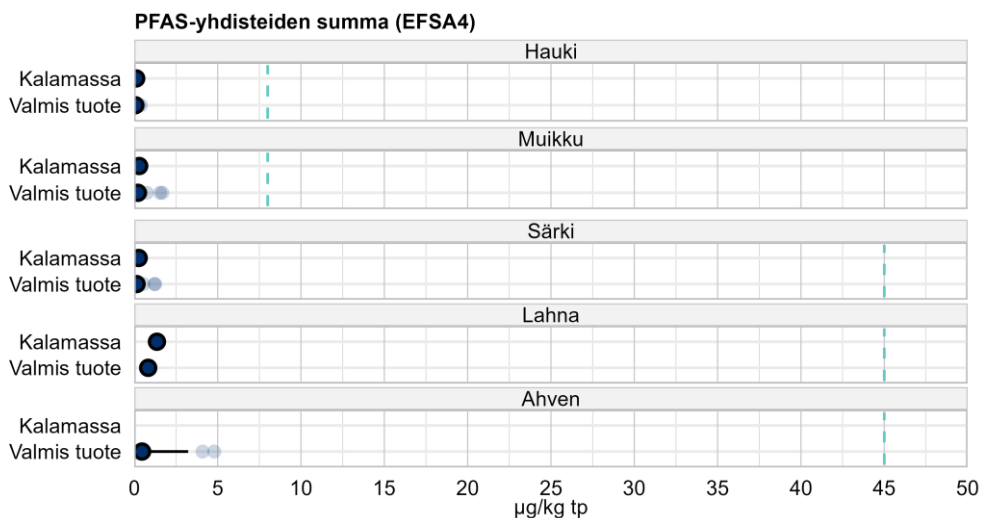
3.1.1.5 Kalatuotteet

Dioksiini-, PCB- ja PBDE-yhdisteiden pitoisuudet olivat sisävesien ahventa, särkeä, muikkua ja haukea käyttävissä kalatuotteissa erittäin pieniä (kuvio 13). Kaikki HBCD:n tulokset olivat määritysrajan alapuolella. Myös PFAS-pitoisuudet olivat hyvin pieniä ahventa, särkeä, muikkua ja haukea käyttävissä kalatuotteissa eikä valmistusprosessista näyttäisi tulevan PFAS-yhdisteitä valmiisiin tuotteisiin (kuvio 14). Tuotteiden osalta EU:n raja-arvot ovat laskennallisia.

Kuvio 13. Dioksiinien ja PCB -yhdisteiden sekä PBDE-yhdisteiden pitoisuus järvikalasta valmistetuissa kalatuotteissa.



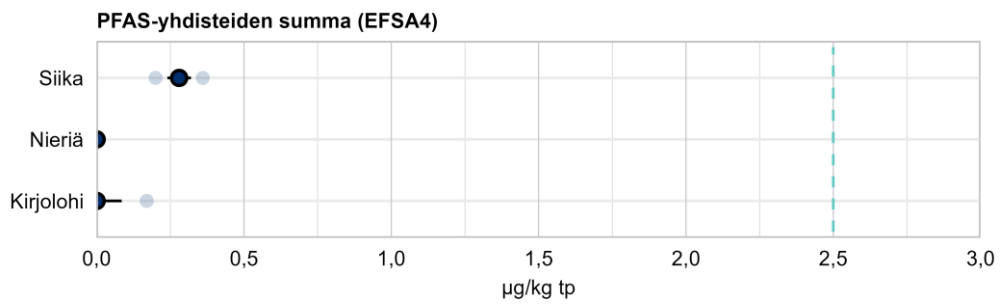
Kuvio 14. PFAS-yhdisteiden pitoisuudet järvikalasta valmistetuissa kalatuotteissa ja niiden valmistukseen käytetyssä raakamassassa.



3.1.1.6 Kasvatettu kala

Kasvatetun kalan dioksiini-, PCB-, PBDE- ja HBCD-yhdisteiden pitoisuudet olivat hyvin pieniä ja selvästi alle enimmäismäärien. Tutkittujen näytteiden lihassa myös PFAS-yhdisteiden pitoisuudet olivat erittäin matalia ja selvästi alle enimmäismäärien (kuvio 15).

Kuvio 15. PFAS-yhdisteiden pitoisuudet kasvatetussa kalassa.



3.1.2 Elohopea ja epäorgaaninen arseeni

3.1.2.1 Elohopea ja metyylielohopea

Kokonaiselohopean mittaustulokset on esitetty kalalajeittain kuviossa 16. Kuhan, ahvenen, lahnan ja särjen osalta havaittiin odotetusti korkeampia elohopeapitoisuuksia järvivesien kaloissa verrattuna merialueiden kaloihin. Sisävesikaloista määritettyjen kalojen keskimääräinen elohopeapitoisuus oli 0,23 mg/kg, kun taas merikaloissa keskimääräinen elohopeapitoisuus oli 0,06 mg/kg. Arvoketjunäytteitä tarkasteltaessa elohopeapitoisuudet olivat pieniä sekä raakamassassa että valmiissa tuotteissa.

Elohopean pitoisuudet olivat lähes kaikissa analysoiduissa näytteissä pienempiä kuin komission asetuksessa (EU) 2023/915 annetut enimmäismäärät. Elohopean enimmäismäärä kalalle on 0,50 mg/kg tuorepainoa kohden. Poikkeuksena tietyt kalalajit. Lohelle, kirjolohelle sekä taimenelle enimmäismäärä on 0,30 mg/kg, kun taas hauelle elohopean enimmäismäärä on 1,0 mg/kg. Tutkituista näytteistä enimmäispitoisuudet ylittyivät yksittäisen taimennäytteen osalta (0,40 mg/kg) ja yhden kuhanäytteen osalta (0,52 mg/kg).

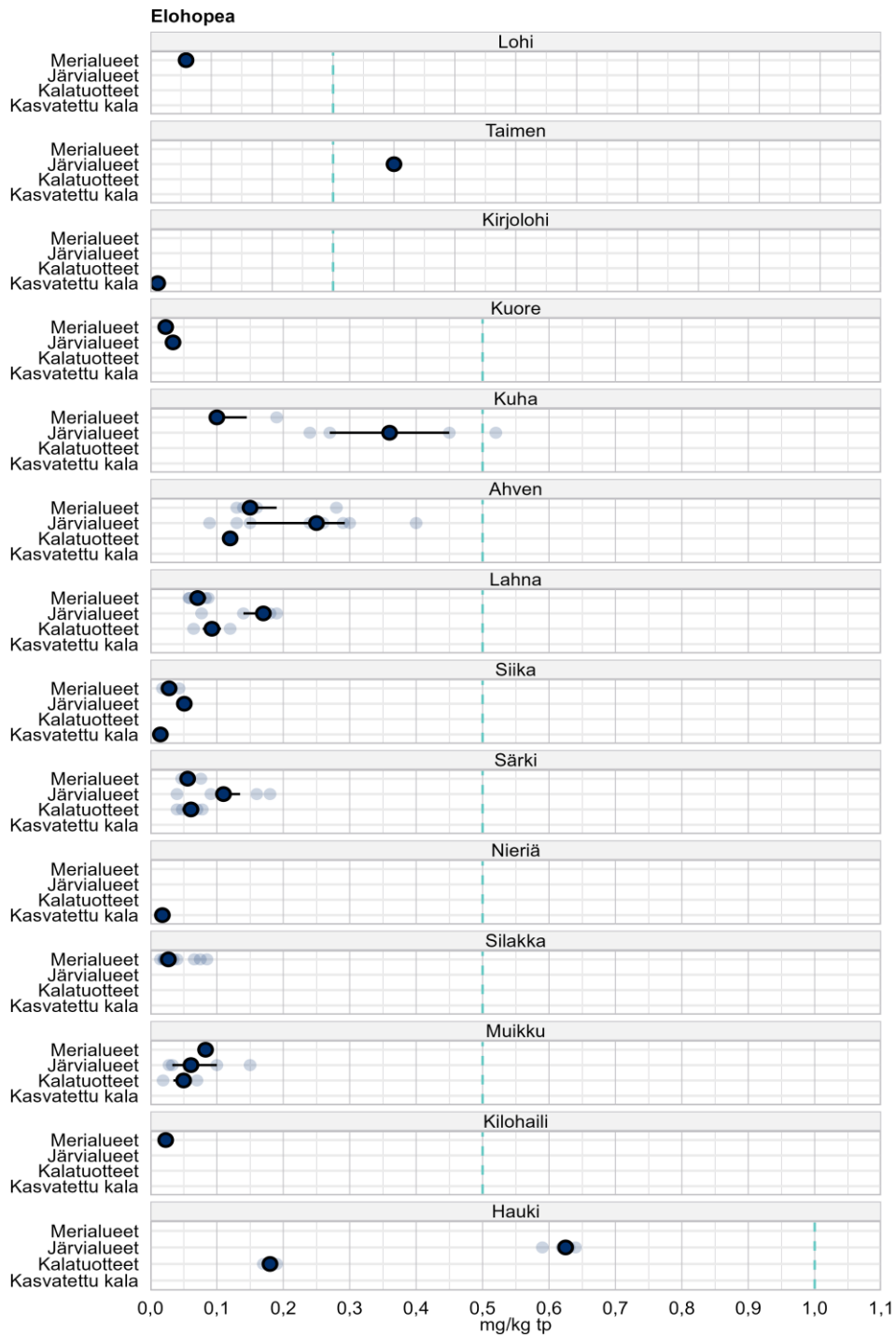
Elohopeamäärittämiä on tehty aiemmissa EU-kalat -hankkeissa I ja III. Elohopeapitoisuudet kaloissa eivät ole muuttuneet merkittävästi vuosien aikana. Sisävesien hauen ja kuhan osalta elohopeapitoisuudet näyttäsivät kuitenkin kasvaneen vuodesta 2004. EU-kalat I -hankkeessa keskimääräinen sisävesialueiden hauen elohopeapitoisuus on ollut 0,38 mg/kg, vuonna 2018 julkaistussa EU-kalat III -hankkeessa 0,51 mg/kg ja nyt tutkituissa näytteissä 0,62 mg/kg.

Metyylielohopea on elohopean orgaaninen muoto, joka on alkuainemuotoista elohopeaa huomattavasti haitallisempaa. Metyylielohopean tulokset on esitetty kuviossa 17. Tulosten jakauma oli hyvin samankaltainen kuin kokonaiselohopean. Metyylielohopealle ei ole asetettu enimmäismäärää.

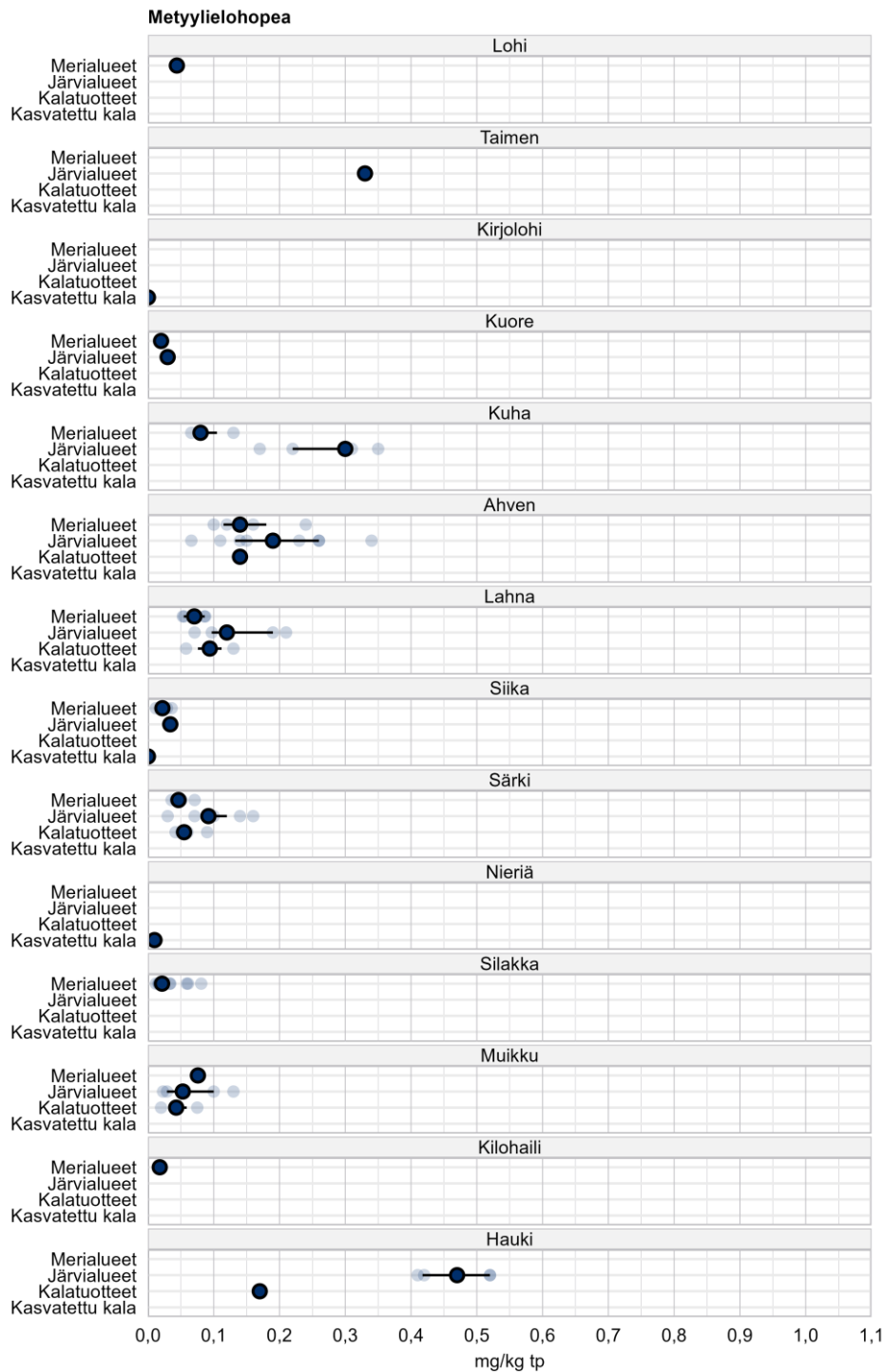
Kokonaiselohopean ja metyylielohopean tuloksista laskettiin kalalajeittain metyylielohopean osuus kokonaiselohopeasta (taulukko 11). Metyylielohopean osuus vaihteli välillä 56–94 %. Suurin osuus metyylielohopeaa havaittiin lahnessa ja muikussa, kun taas pienin osuus rasvaisemmissa kaloissa kuten lohessa ja nieriässä.

Hauen, ahvenen ja kuhan elohopeapitoisuuksia vertailtaessa (Liite 1) havaittiin, että kunkin lajin pienimmät pitoisuudet olivat Pyhäjärvestä, Inarista ja Lokan tekojärvestä pyydetyissä ja suurimmat Saimaasta ja Oulujärvestä pyydetyissä saman lajin näytteissä. Muut sisävesistöt jäivät näiden ääripäiden välille.

Kuvio 16. Alueelliset erot elohopean (Hg) pitoisuuksissa 2022–2023.



Kuvio 17. Alueelliset erot metyylielohopean (MeHg) pitoisuuksissa 2022–2023.



Taulukko 11. Hankkeessa määritetty metyylielohopean (MeHg) keskimääräinen osuus kokonais-elohopeasta kalalajeittain

Laji	MeHg osuus %	Laji	MeHg osuus %
ahven	87,0	lohi	75,2
hauki	81,8	muikku	90,8
järvitaimen	82,5	nieriä	55,6
kilohaili	82,1	siika	79,0
kirjolohi	81,9 (middle bound 41,0)	silakka <17 cm	76,0
kuha	73,7	silakka yli 17 cm	85,3
kuore	87,6	särki	88,1
lahna	94,1		

3.1.2.2 Epäorgaaninen arseeni

Epäorgaanisen arseenin pitoisuudet olivat kaikissa tutkituissa näytteissä alle määrittäysrajan 0,01 mg/kg. Näytteistä havaittiin kvalitatiivisesti orgaanisen arseenin muotoja, mutta niitä ei voitu kvantitoida käytössä olevalla menetelmällä.

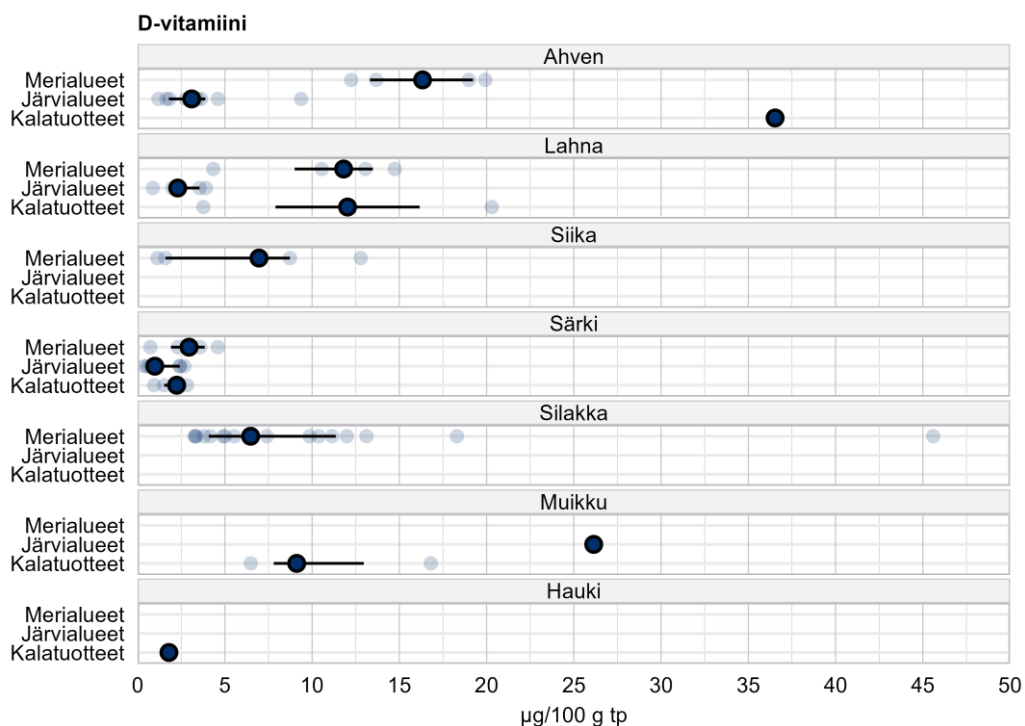
Arseenin pääasiallinen muoto merenelävissä on arsenobetaiini, joka on elintarvikkeista saatavina määrinä vaaratonta. Myös muita orgaanisia arseeniyhdisteitä tunnetaan. Epäorgaaninen arseeni on arseenin myrkyllisin muoto. Kokonaisarseenipitoisuudet voivat vaihdella huomattavasti eri merenelävien välillä, mutta epäorgaanisen arseenin osuudet arseenista ovat olleet pieniä tai ei havaittavissa (Wolle ym 2019). Tutkimuksessa epäorgaanista arseenia ei havaittu kaloista, ja sitä havaittiin vain simpukoista ja ravuista. Kalanrehuseurannassa vuonna 2003 todettiin, että kokonaisarseenipitoisuudet saattoivat olla jopa 6 mg/kg, mutta vain pieni osa (1,2 %) arseenista oli epäorgaanista arseenia (Sloth ym 2005a). Vastaavasti kaloissa epäorgaanisen arseenin pitoisuudet olivat enimmäkseen alle määrittäysrajan (Sloth ym 2005b; Julshamn ym 2012), ja muun tyyppisissä merenelävissä pitoisuudet olivat suurimmillaan 0,060 mg/kg (Sloth ym 2005b). Kaikissa näytetyypeissä epäorgaanisen arseenin osuus oli kokonaisarseenista vain noin yhden prosentin verran.

3.1.3 D-vitamiini ja rasvahapot

Ihmisillä D-vitamiinia muodostuu iholle saadun auringon valon vaikutuksesta, mutta tämä yleensä ei riitä kattamaan elimistön tarpeita pohjoisella pallonpuoliskolla. Siksi ravinnosta saatava D-vitamiini on terveyden kannalta tärkeää. Kala on ravinnossamme hyvä kolekalsiferolin eli D3-vitamiinin lähde. Kalat eivät syntetisoi D-vitamiinia, vaan puolestaan saavat sen ravinnostaan. D-vitamiinin alkuperänä pidetään kasviplanktonia.

D-vitamiinitulokset on esitetty kuviossa 18. D3-vitamiinipitoisuuksien minimi ja maksimipitoisuudet olivat ahvennäytteissä 1,2-19,9 µg/100 g (Fineli 15,2 µg/100 g; (THL 2019)); lahnänäytteissä 0,9-14,7 µg/100 g (Fineli 14,0 µg/100 g); siikanäytteissä 1,1-12,8 µg/100 g (Fineli 14,9 µg/100 g); särkinäytteissä 0,4-4,6 µg/100 g (Fineli 10,0 µg/100 g); silakkanäytteissä 3,3-49,9 µg/100 g (Fineli 15,6 µg/100 g) ja muikussa 26,1 µg/100 g (Fineli 9,4 µg/100 g).

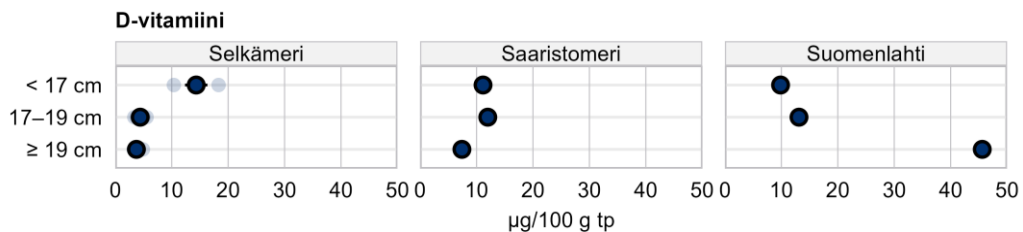
Kuvio 18. Alueelliset erot D-vitamiinin (D3) pitoisuuksissa 2022–2023.



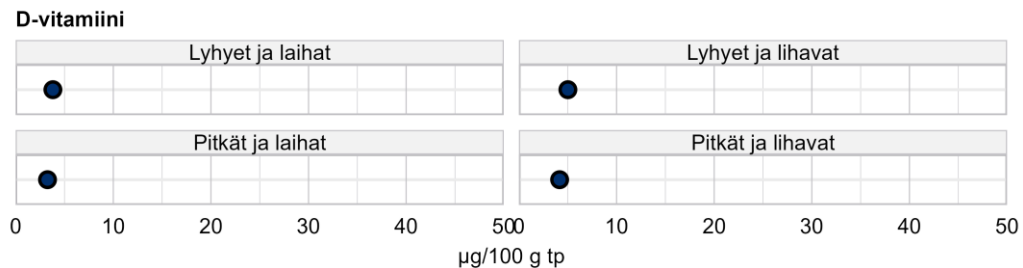
Merialueiden kaloissa D-vitamiinipitoisuudet olivat ahvenella lähes viisi, lahnalla neljä ja särjellä kaksi kertaa korkeampia keskiarvopitoisuuksista laskettuna sisävesiin verrattuna. D-vitamiinipitoisuuden vaihtelevuus kalalajien sisällä oli suurta, eikä se ollut

verrannollinen rasvahappojen kokonaismäärään. Tämä on myös todettu mm. Mattila ym (1995, 1997) tutkimuksissa. Kalan ravinnostaan saama D-vitamiini ei välttämättä suoraan ole kytköksissä kalan lihassa olevan D-vitamiinipitoisuuden kanssa, vaan siihen vaikuttavat monet muutkin tekijät, joita kaikkia ei tunneta (Mattila ym. 1997, 1999a). Tässä tutkimuksessa silakan kokoluokalla eri merialueilla ja D-vitamiinipitoisuudella ei ollut selkeää yhteyttä (Kuvio 19) kuten ei myöskään kuntokertoimella (Kuvio 20). Kalatuotteissa D-vitamiinipitoisuudet vaihtelivat 0,9-36,5 µg/100 g välillä. Yleisesti D-vitamiini kestää ruuan valmistusmenetelmiä hyvin (Mattila ym. 1999b).

Kuvio 19. Silakan D-vitamiinipitoisuudet kokoluokan ja pyyntialueen mukaan eroteltuina.

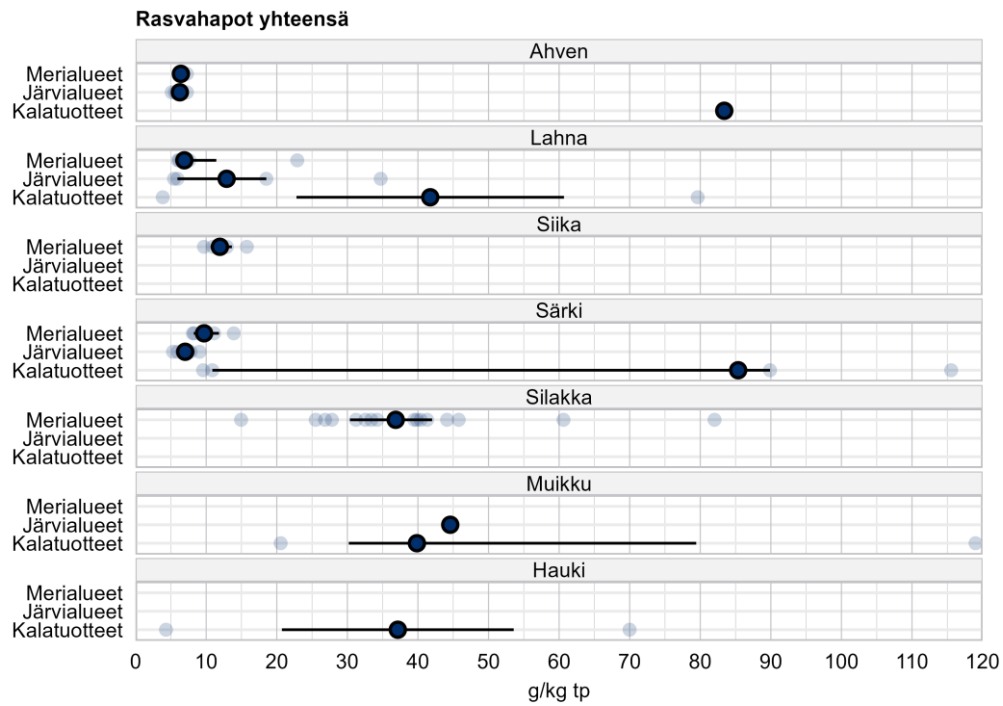


Kuvio 20. D-vitamiinipitoisuus silakassa kuntokertoimen mukaan eroteltuna .

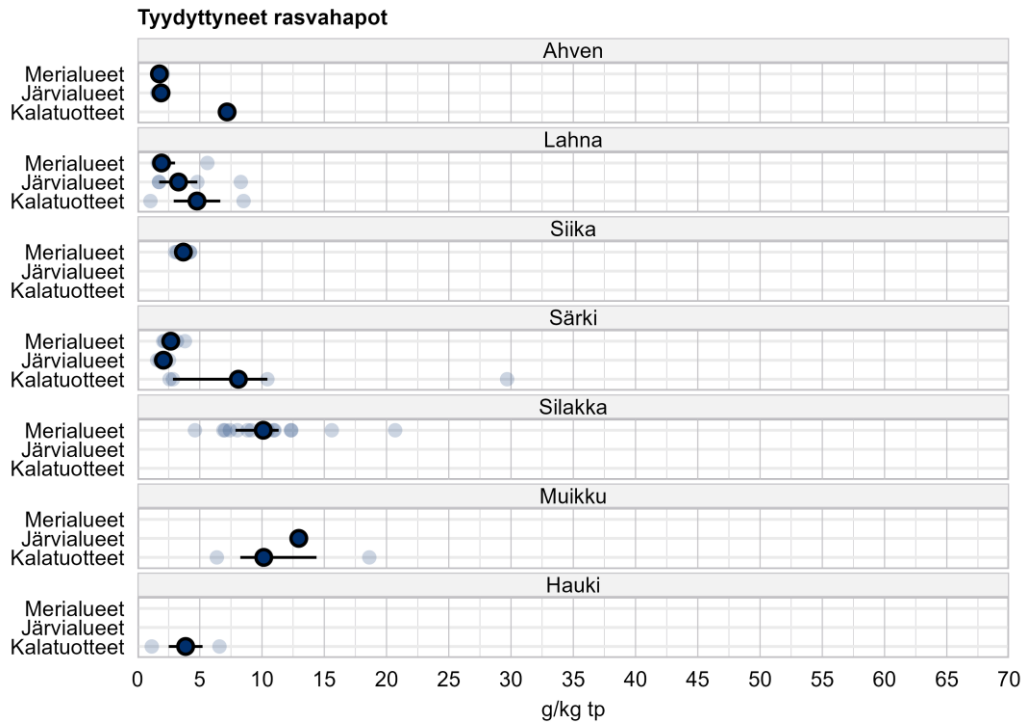


Eniten rasvahappoja oli silakassa (vaihteluväli 15,0–82,0 g/kg tp) ja muikussa (44,6 g/kg tp; kuvio 21). Lisäksi joissakin lahnanäytteissä rasvahappojen kokonaismäärä (vaihteluväli 5,4–34,7 g/kg tp) oli korkeampi verrattuna ahveneeseen, siikaan ja särkeen (5,1–15,8 g/kg tp). Korkean kokonaisrasvahappopitoisuuden vuoksi myös tyydyttyneiden, yksittäistyydyttymättömien ja monityydyttymättömien rasvahappojen pitoisuus oli korkeampi silakalla ja muikulla verrattuna muihin kalalajeihin pois lukien kaksi lahnanäytettä (kuviot 22, 23 ja 24). Etenkin silakassa, mutta myös lahnassa, vaihtelu rasvahappojen pitoisuuksissa oli suurta näytteiden välillä.

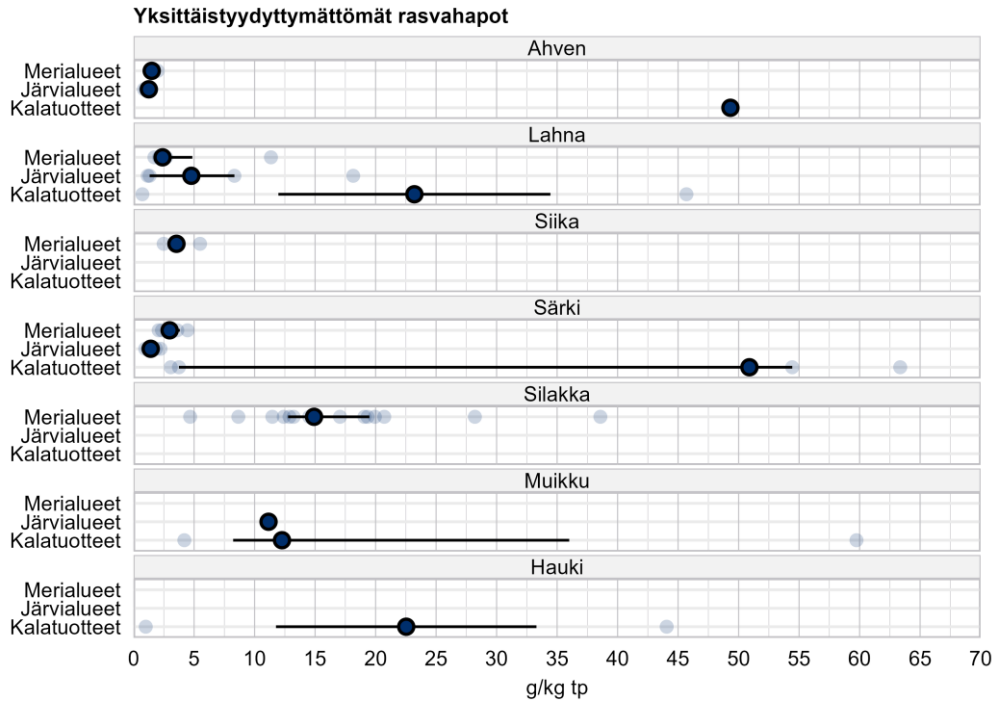
Kuvio 21. Alueelliset erot rasvahappojen (yhteensä) pitoisuuksissa 2022–2023.



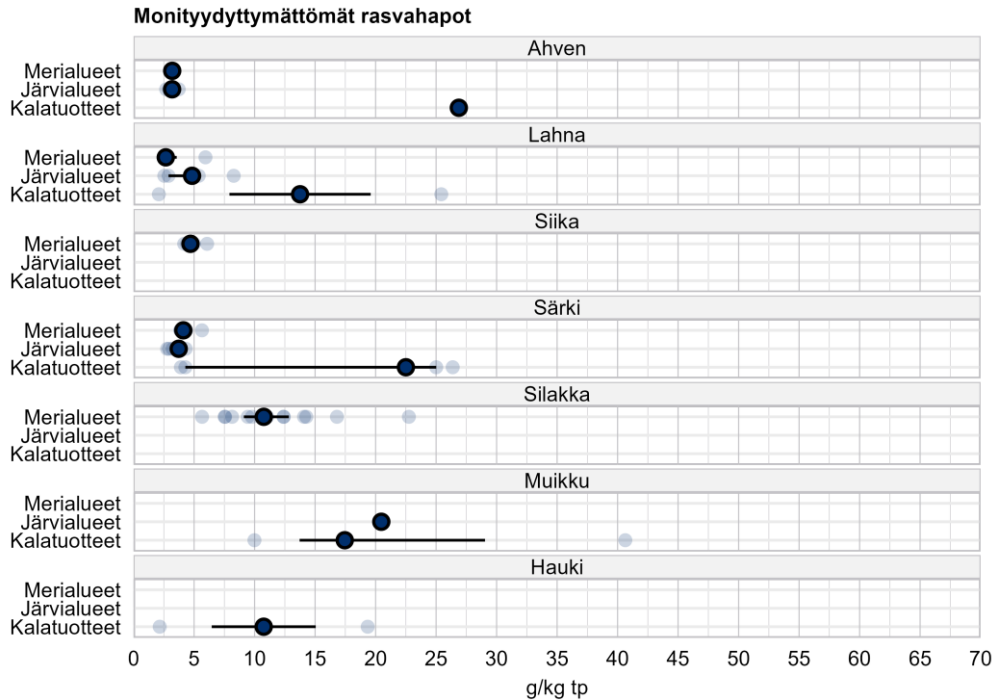
Kuvio 22. Alueelliset erot tyydyttyneiden rasvahappojen pitoisuuksissa 2022–2023.



Kuvio 23. Alueelliset erot yksittäistyydyttymättömien rasvahappojen pitoisuuksissa 2022–2023.

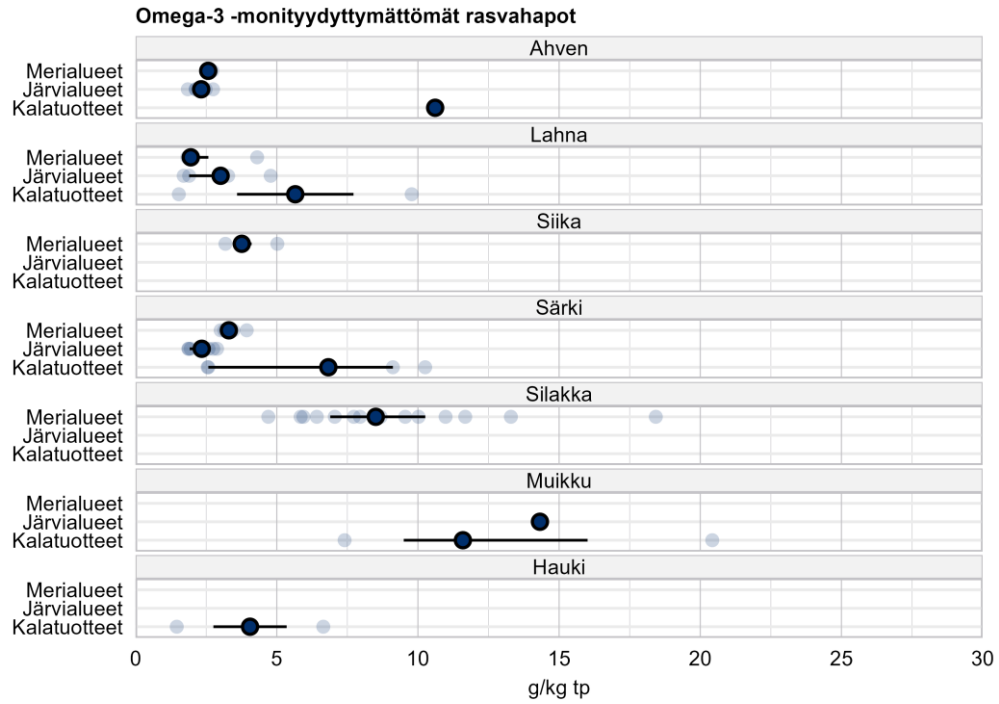


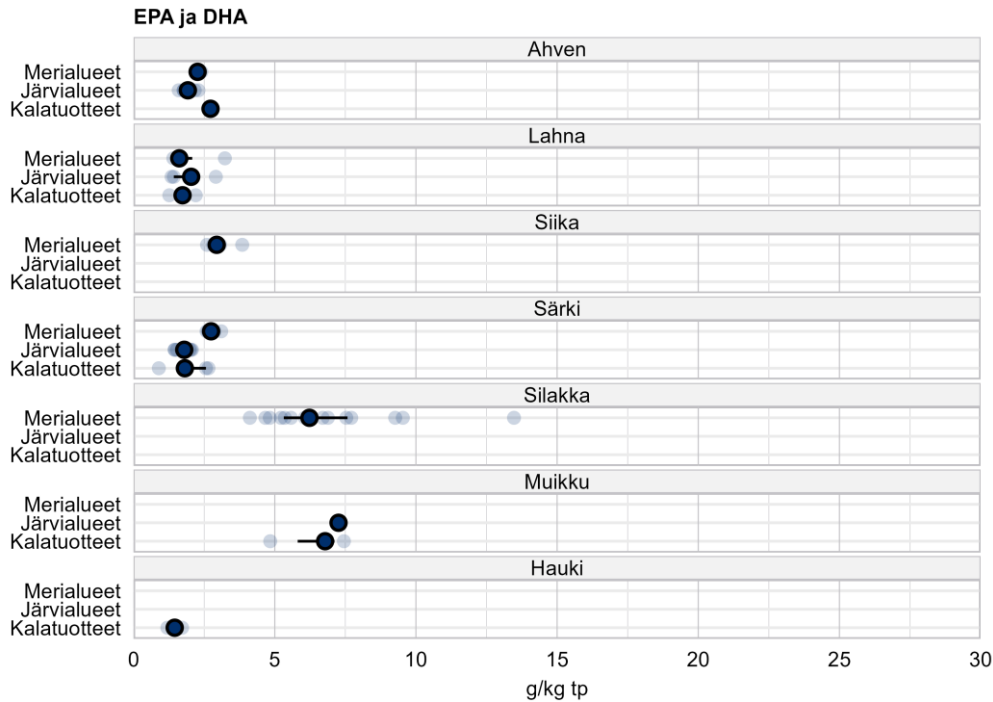
Kuvio 24. Alueelliset erot monitydyttymättömien rasvahappojen pitoisuuksissa 2022–2023.



Omega-3-rasvahappojen ja EPA+DHA-rasvahappojen pitoisuudet heijastelivat karkeasti kokonaisrasvahappojen pitoisuuksia eli EPA+DHA-rasvahappojen määrä kasvoi kokonaisrasvahappojen määrän kasvaessa. Suurimmat omega-3-rasvahappojen pitoisuudet ja EPA+DHA-pitoisuudet olivatkin silakassa ja muikussa (kuviot 25 ja 26). Omega-3- ja EPA+DHA-rasvahappojen pitoisuuksissa oli suurta vaihtelua eri silakka-näytteiden välillä (vaihteluväli 4,7–18,4 g/kg tp ja 4,1–13,47 g/kg tp, tässä järjestyksessä). Ahven-, lahna-, särki- ja siikanäytteissä omega-3-pitoisuudet olivat 1,7–5,0 g/kg tp ja EPA+DHA-pitoisuudet 1,3–3,9 g/kg tp. Muikkunäytteessä omega-3-pitoisuus oli 14,3 g/kg tp ja EPA+DHA-rasvahappojen pitoisuus 7,26 g/kg tp. Rasvahappopitoisuuksissa ei juurikaan ollut eroja merialueiden ja järvi-alueiden välillä ahvenella, lahnalla ja särjellä.

Kuvio 25. Alueelliset erot omega-3 -monitydyttymättömien rasvahappojen pitoisuuksissa 2022–2023.



Kuvio 26. Alueelliset erot EPA:n ja DHA:n pitoisuuksissa 2022–2023.

Tuloksia verrattiin myös Finelin elintarviketietokantaan, johon on koottu Suomessa käytettävien elintarvikkeiden keskimääräisiä ravintoainekoostumuksia. Tässä hankkeessa muikun kokonaisrasvahappopitoisuudet ja eri rasvahappoluokkien pitoisuudet olivat suurempia verrattuna Finelin (THL 2019) tietoihin (kokonaisrasvahapot 28 g/kg tp ja EPA+DHA n. 6 g/kg tp). Finelin tiedot silakasta ovat kokonaisrasvahappopitoisuuden osalta (56 g/kg tp) yhteneväiset pitkien ja lihavien silakoiden tuloksien kanssa, mutta tämän hankkeen tulokset näyttivät yleisesti silakalle pienempiä monitydyttymättömien rasvahappojen pitoisuuksia ja suurempia yksittäistyydyttymättömien rasvahappojen pitoisuuksia verrattuna Fineliin (Fineli 20 g/kg tp kummallekin rasvahappoluokalle). Sen sijaan EPA+DHA-pitoisuudet ovat hyvin yhteneväiset (Fineli n. 10 g/kg tp ja pitkät ja lihavat silakat 9,5 g/kg tp). Finelin ilmoittamat tiedot lahnalle (kokonaisrasvahappopitoisuus 22 g/kg tp) olivat yhteneväisiä tämän hankkeen lahnanäytteen kanssa, jossa kokonaisrasvapitoisuus oli 22,9 g/kg tp. Ahvenen osalta rasvahappoluokkien pitoisuudet olivat hieman erilaiset tässä hankkeessa verrattuna Finelin tietokantaan, mutta yleisestikin ottaen osa eroavaisuuksista tämän hankkeen tulosten ja Finelin tietojen välillä voi johtua myös merkitsevien numeroiden lukumäärästä Finelin ilmoittamissa tiedoissa (esim. ahvenen yksittäis- ja monitydyttymättömien määrät 0,2 g/100g tp). Särkinäytteiden osalta pitoisuustiedot olivat pienemmät kuin Finelin taulukoarvot (esim. kokonaisrasvahappopitoisuus Finelissä 17 g/kg tp). Eniten rasvahappoja sisältäneessä siikanäytteessä kokonaisrasvahappopitoisuus oli samanlainen

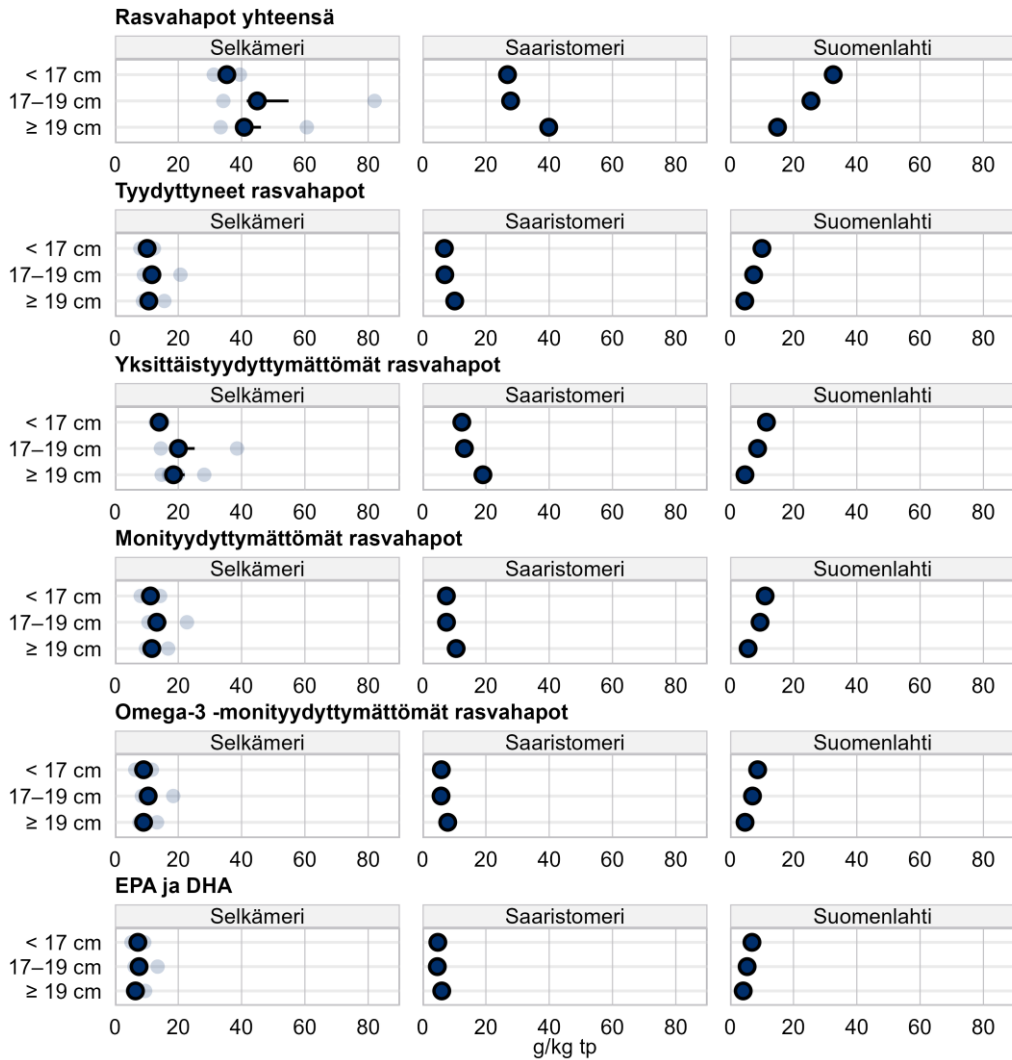
(15,8 g/kg tp) kuin Finelin taulukkoarvoissa (16 g/kg tp), mutta tässä hankkeessa kaikissa siikanäytteissä oli enemmän monitydyttymättömiä rasvahappoja (4,2–5,5 g/kg tp) ja EPA+DHA-rasvahappoja (2,6–3,9 g/kg tp) verrattuna Finelin tietoihin (4 g/kg tp ja 1,6 g/kg tp).

Kalatuotteiden rasvahappopitoisuudet erosivat tuoreiden kalojen pitoisuuksista todennäköisesti joidenkin tuotteiden sisältämien kasviöljyjen vuoksi (kuviot 21–24). Lisäksi vaihtelu kalatuotteiden sisällä oli suurta. Etenkin särkituotteiden yksittäistyydyttymättömien rasvahappojen pitoisuudet vaihtelivat paljon eri tuotteiden välillä. Myös omega-3-rasvahappoja oli suurempia määriä kalatuotteissa verrattuna vastaaviin tuoreisiin kalanäynteisiin todennäköisesti kalatuotteiden sisältämien kasviöljyjen vuoksi.

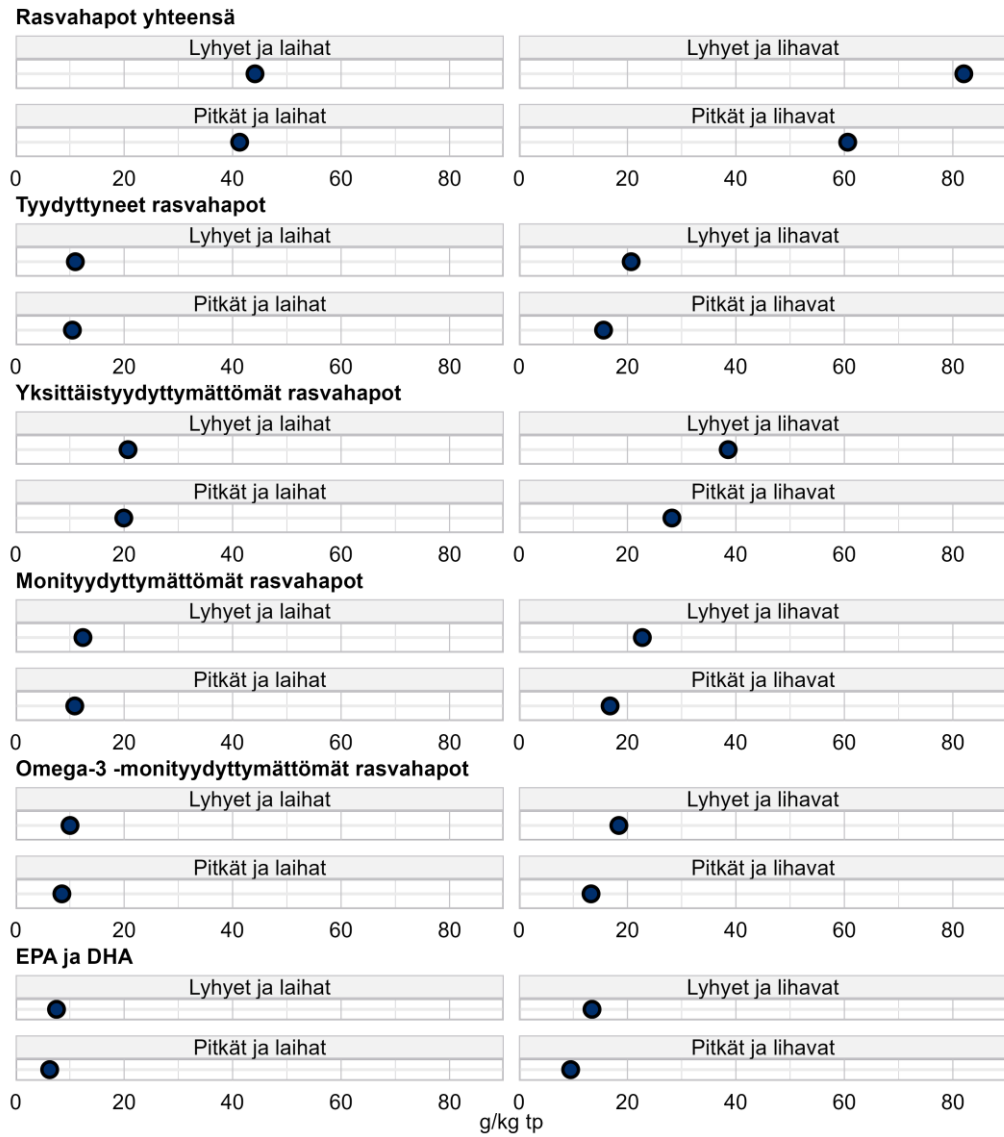
Selkämeren silakan kokoluokkien välillä oli vaihtelua rasvahappopitoisuuksissa (kuvio 27). Saaristomeren silakoissa kokonaisrasvahappopitoisuus oli pienin <17 cm silakoilla ja suurin ≥ 19 cm silakoilla, mutta pitoisuudet olivat päinvastaiset Suomenlahdella.

Silakan kuntokerroin vaikutti luonnollisesti rasvahappojen kokonaismäärään (kuvio 28). Lihavat silakat sisälsivät enemmän rasvahappoja (eli rasvaa) kuin laihat silakat. Eniten rasvahappoja oli lyhyissä ja lihavissa silakoissa ja vähiten pitkissä ja laihoissa. Muiden rasvahappojen pitoisuudet vähenivät myös kokonaisrasvahappojen vähentyessä yleisesti ottaen samassa suhteessa. Omega-3 rasvahappojen määrä kokonaisrasvahapoista oli 20,6 % pitkillä ja laihoilla, 21,9 % pitkillä ja lihavilla, 22,5 % lyhyillä ja lihavilla ja 22,7 % lyhyillä ja laihoilla. EPA+DHA-pitoisuudet kokonaisrasvahapoista olivat vastaavasti 15,2 %, 15,7 %, 16,4 % ja 17,1 %.

Kuvio 27. Silakan rasvahappopitoisuudet kokoluokan ja pyyntialueen mukaan eroteltuina.



Kuvio 28. Rasvahappojen pitoisuudet silakassa kuntokertoimen mukaan eroteltuina.



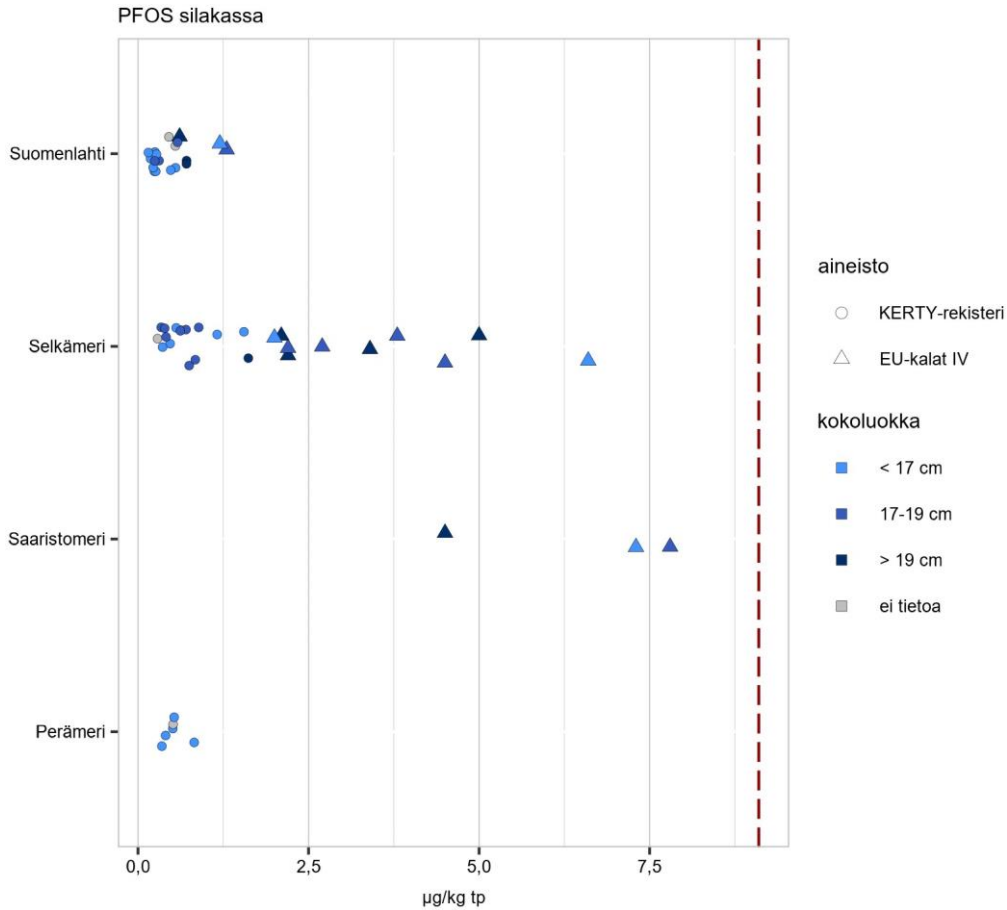
3.2 Suomen merialueiden ja sisävesien ympäristön tila

Tämän hankkeen vierasaineiden pitoisuustuloksia ahven- ja silakkanäytteistä verrattiin KERTY-rekisterin vuosien 2016-2021 pitoisuusaineistoon ja aineille asetettuihin ympäristölaatumormeihin. Kuvioissa on eri aineistot esitetty symbolein ja kalojen kokoluokka värikoodattu.

Hankkeen näytteissä PFOS:n ympäristölaatumormi ylittyi vain yhdessä Selkämeren kuorenäytteessä, missä aineen pitoisuus oli 1,9-kertainen laatumormiin verrattuna. Talvea ja kevään kutuaikaa lukuun ottamatta kuoretta ei ole juurikaan tavattu rannikovesissä petokalojen kuten kuhan, hauen tai ahvenen ravinnossa (Salmi 1982, Savilahti 2016, Sahlsten ym. 2022), mikä viittaa siihen, että varsinaisella kasvukaudella kesällä ja syksyllä kuoreista ei kulkeudu petokaloihin merkittäviä määriä PFOS-yhdisteitä. Suomen merialueilla kuoretta on syksyisin tavattu Luken koetroolauksissa rannikonläheisillä ulappavesillä. Isojen kuoreiden keskeistä ravintoa ovat pohjaeläimet, kuten massiiset ja katkat, mm. Monoporeia ja Pontoporeia (Špilev & Turovski 2003, Yrjölä ym. 2015). Kanadan Ontario-järven Diporeia-katkoissa on havaittu erityisen suuria PFOS-pitoisuuksia (Martin ym. 2004), mikä voisi viitata PFOS-yhdisteiden siirtymiseen sedimentistä katkojen kautta ravintoketjuun. Myös keskikokoisten ja kookkaiden silakoiden ravintovalikoimaan kuuluvat massiiset ja katkat. Ulappavesien pohjilla keskeisten katkojen (Monoporeia ja Pontoporeia) kannat ovat kuitenkin olleet melko heikkoja Selkämeressä viime vuosina (SYKE).

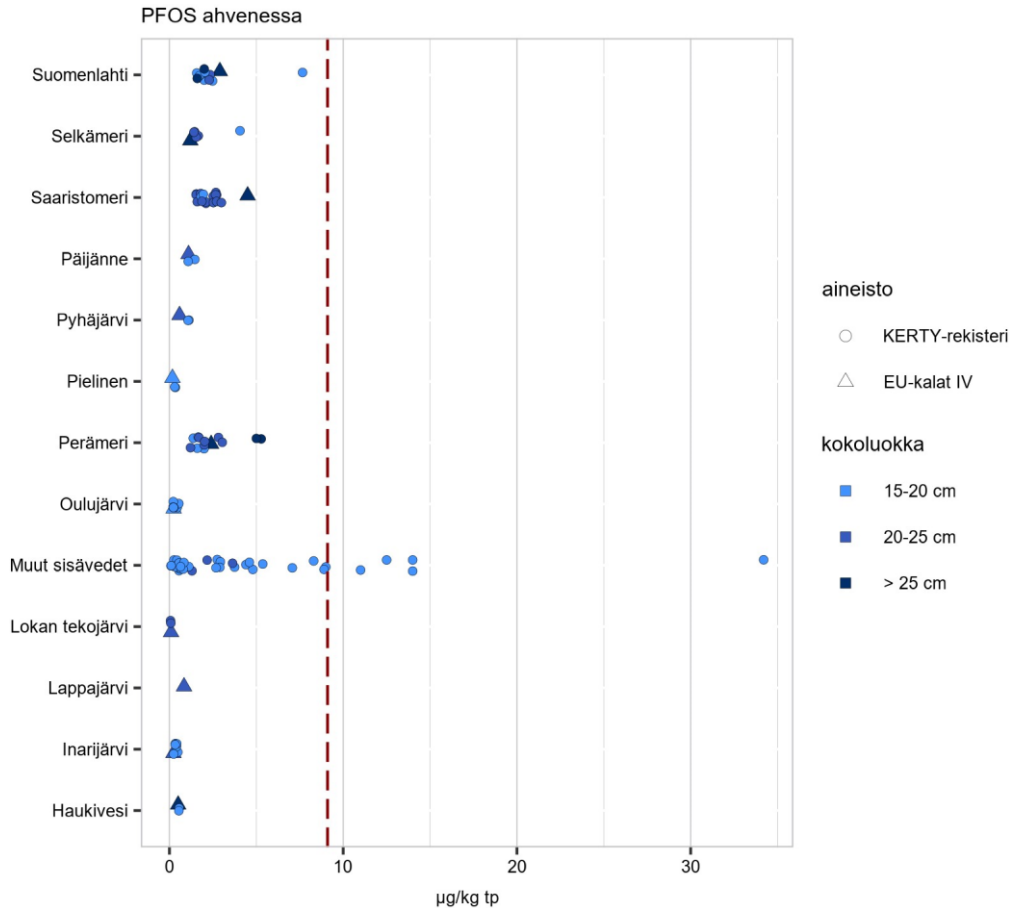
Hankkeen silakkanäytteiden PFOS-pitoisuudet olivat kaikissa kokoluokissa KERTY-rekisteriin tallennettuja silakan mittaustuloksia suurempia (kuvio 29). Ero oli suurin Selkämerellä. Kokoluokkien sisällä hankkeen silakkayksilöt olivat hieman suurempia kuin KERTY-rekisterin yksilöt, mikä voi osaltaan selittää eroa kuten myös erot näytteiden pyyntiajankohdissa. KERTY-rekisterin silakkanäytteet on pyydetty pääosin syyslokakuussa, kun taas valtaosa EU-kalat IV -hankkeen silakkanäytteistä pyydettiin helmi- ja huhtikuussa. Hankkeen Selkämereltä syyskuussa pyydettyjen silakkanäytteiden PFOS-pitoisuus oli 2,1-2,7 µg/kg, mikä on lähellä KERTY-rekisteriin tallennettuja suurimpia Selkämeren mittaustuloksia. Edellä kappaleessa 3.1.1.3 on esitetty mahdollisia syitä kevätnäytteiden suurempiin pitoisuuksiin.

Kuvio 29. PFOS-pitoisuus silakassa. PFOS:lle asetettu ympäristölaatumormi on esitetty punaisella katkoviivalla.



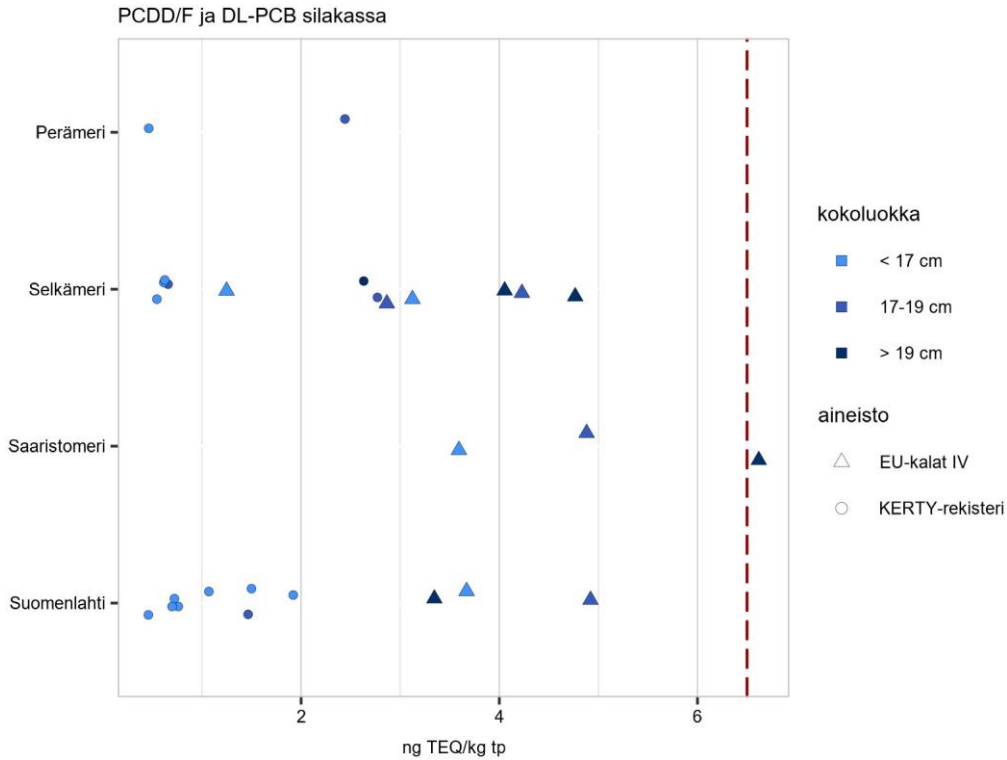
Hankkeen ahvennäytteiden PFOS-pitoisuudet olivat niin rannikolla kuin sisävesissäkin pääosin samalla tasolla kuin KERTY-rekisteriin tallennetut ahventen mittaustulokset (kuvio 30). Hankkeen Saaristomeren ahvennäytteessä pitoisuus oli KERTY-rekisterin tuloksia suurempi, mikä voi selittyä näytekalan suuremmalla koolla. Hankkeen sisävesistä kalastettujen ahventen PFOS-pitoisuudet vertautuvat keskiuurissa tai suurissa PFOS:n kannalta vähä- tai hajakuormitteisissä järvissä esiintyvään pitoisuustasoon.

Kuvio 30. PFOS-pitoisuus ahvenessa. PFOS:lle asetettu ympäristölaatunormi on esitetty punaisella katkoviivalla.



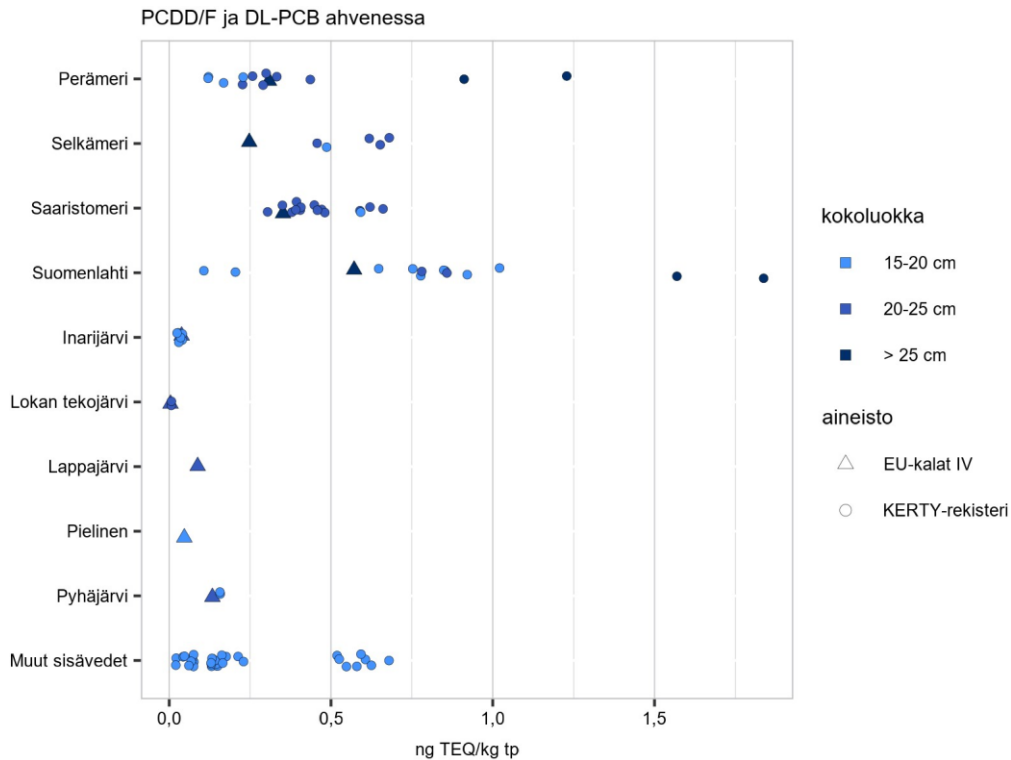
Dioksiinien ja PCB-yhdisteiden ympäristölaatunormi 0,0065 µg TEQ/kg tp (eli 6,5 ng TEQ/kg tp) ylittyi yhdessä hankkeen Saaristomerien silakkanäytteessä (kuviokuva 31). Hankkeen silakkanäytteiden pitoisuudet olivat pääosin korkeampia kuin KERTY-rekisteriin tallennetut mittaustulokset. Hankkeen Suomenlahden ja Selkämeren näytteiden silakkayksilöiden koko oli myös suurempi kuin valtaosassa KERTY-rekisterin näytteissä.

Kuvio 31. Dioksiinien ja PCB-yhdisteiden pitoisuus silakassa. Yhdisteryhmälle asetettu ympäristölaatunormi on esitetty punaisella katkoviivalla.

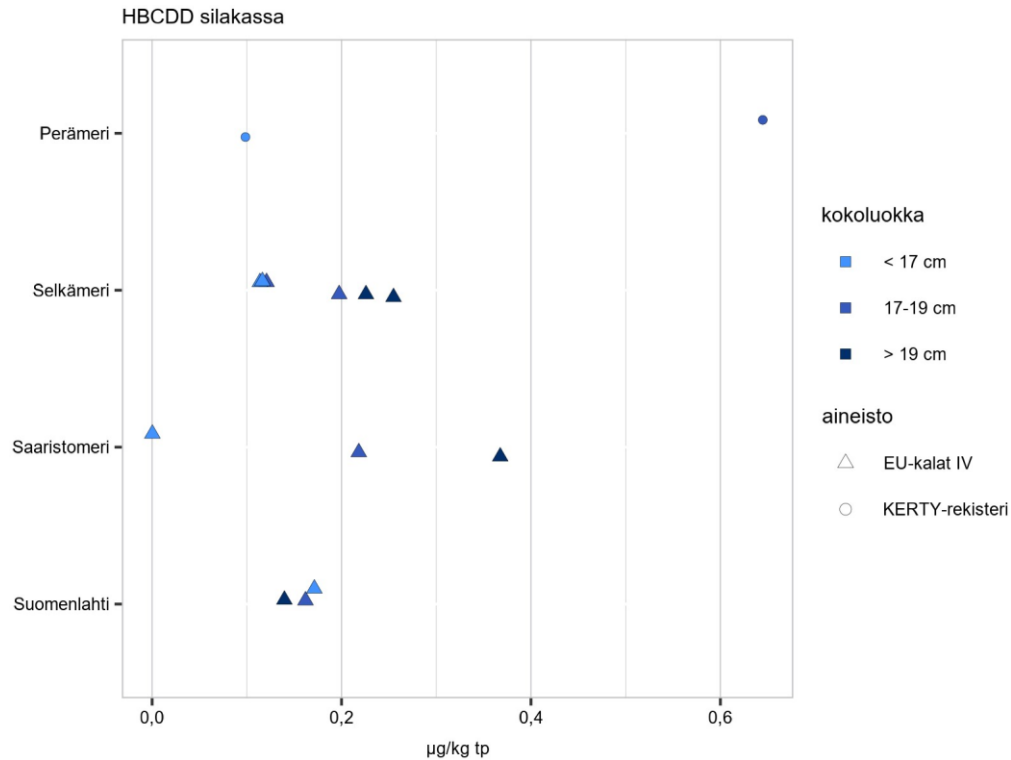


Dioksiinien ja PCB-yhdisteiden pitoisuudet ahvenessa olivat hankkeen näytteissä KERTY-rekisterin näytteitä pienempiä Suomenlahdella, Selkämerellä, Saaristomerellä ja Pyhäjärvessä (kuvio 32). Pielisen ja Lappajärven näytteiden pitoisuudet olivat pienempiä kuin valtaosassa KERTY-rekisterin sisävesinäytteissä. Inarijärven ja Lokan näytteiden pitoisuudet olivat pieniä ja samalla tasolla KERTY-rekisterin tulosten kanssa. Hankkeen näytteiden yksilökoko oli KERTY-rekisterin näytteitä suurempi merinäytteissä sekä Pyhäjärven ja Inarijärven näytteissä.

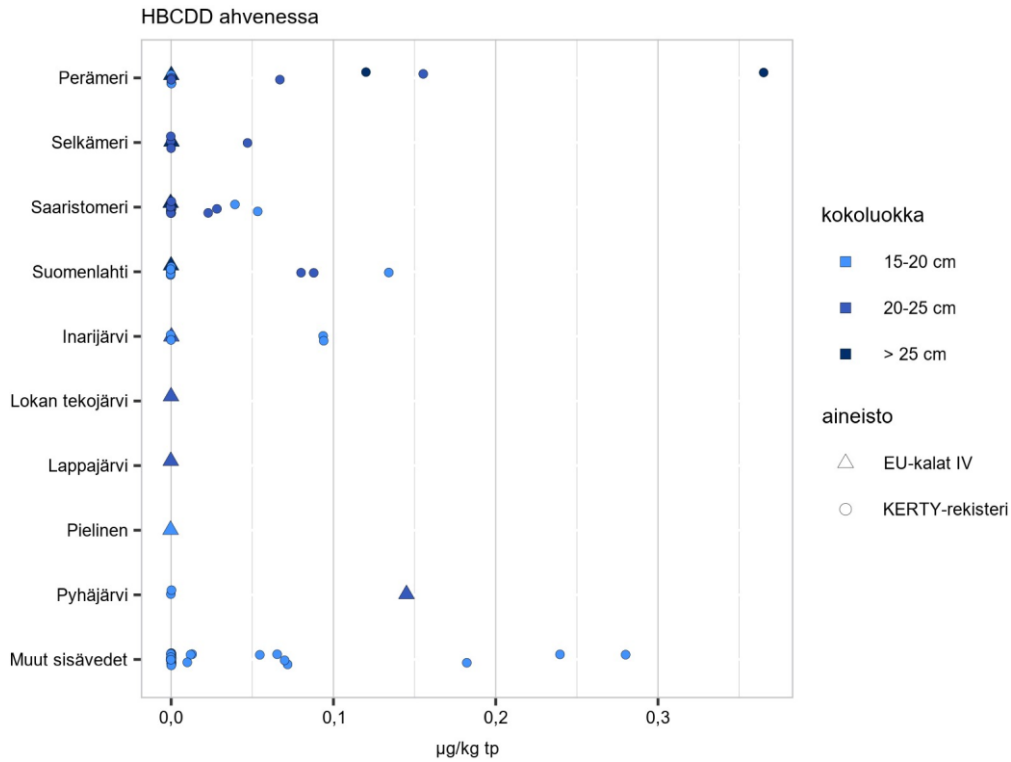
Kuvio 32. Dioksiinien ja PCB-yhdisteiden pitoisuus ahvenessa. Yhdisteryhmälle asetettua ympäristölaatumnormia (6,5 ng TEQ/kg tp) ei näy kuvassa, koska kaikki tulokset olivat huomattavasti sen alle.



Kaikki hankkeen näytteiden HBCD-pitoisuudet olivat selvästi alle aineryhmälle asetettua ympäristölaatumnormin 167 µg/kg. KERTY-rekisteriin on tallennettu silakan HBCD-mittauksia vuosille 2016–2021 vain Perämerelle, missä alle 17 cm yksilöiden pitoisuus on ollut samalla tasolla hankkeen näytteiden kanssa (kuvio 33). KERTY-rekisterin Perämeren 17–19 cm kokoisten yksilöiden näytteessä HBCD-summapitoisuus on ollut selvästi suurempi kuin mitä tässä hankkeessa on muilla merialueilla mitattu.

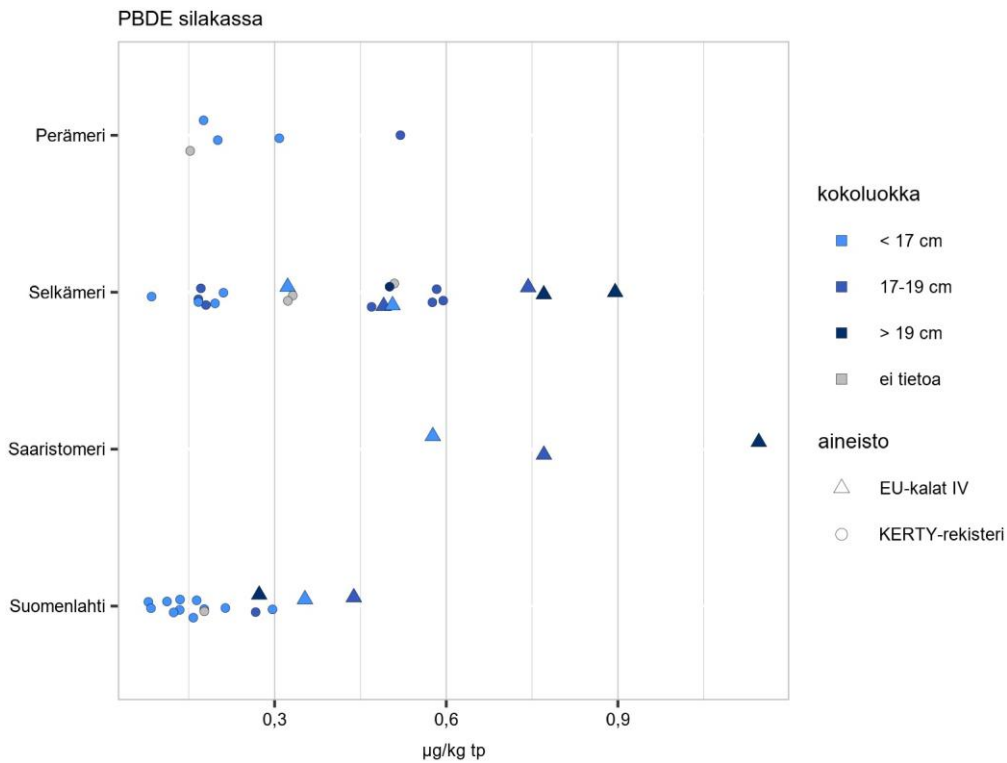
Kuvio 33. HBCD-yhdisteiden summapitoisuus silakassa.

Hankkeen ahvennäytteissä HBCD-yhdisteitä havaittiin vain Pyhäjärven näytteessä, jonka yksilöiden keskipitoisuus oli 21 cm. Näytteen pitoisuus 0,14 µg/kg oli suurempi kuin valtaosassa KERTY-rekisterin sisävesien ahvennäytteissä, mutta pienempi kuin esimerkiksi KERTY-rekisteriin tallennetuissa Pirkkalan Pyhäjärven näytteissä (kuvio 34). KERTY-rekisterin sisävesien HBCD-näytteiden yksilöiden pituus on alle 20 cm.

Kuvio 34. HBCD-yhdisteiden summapitoisuus ahvenessa.

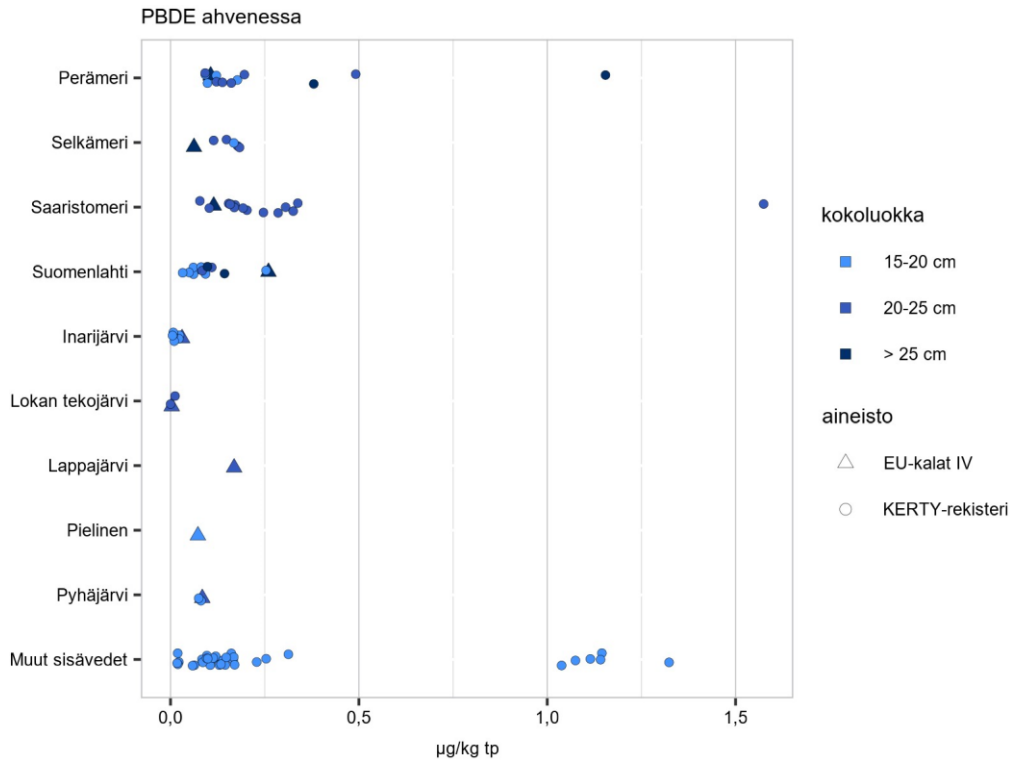
PBDE-yhdisteiden pitoisuus ylitti ympäristölaatonormin 0,0085 µg/kg kaikissa hankkeen näytteistä paitsi Lokan tekojärven ahvennäytteissä. Hankkeen silakkanäytteiden kuuden PBDE-yhdisteen summapitoisuus oli hieman KERTY-rekisteriin tallennettuja tuloksia suurempia Suomenlahdella alle 17 cm ja 17–19 cm yksilöissä sekä Selkämerellä alle 17 cm ja ja yli 19 cm yksilöissä (kuvio 35). Selkämeren 17–19 cm yksilöissä pitoisuus oli samalla tasolla kuin KERTY-rekisterin saman kokoluokan näytteissä.

Kuvio 35. PBDE-yhdisteiden summapitoisuus silakassa. Ympäristölaatonormi 0,0085 µg/kg (ei merkitty kuvaan skaalan vuoksi) ylittyy laajasti.



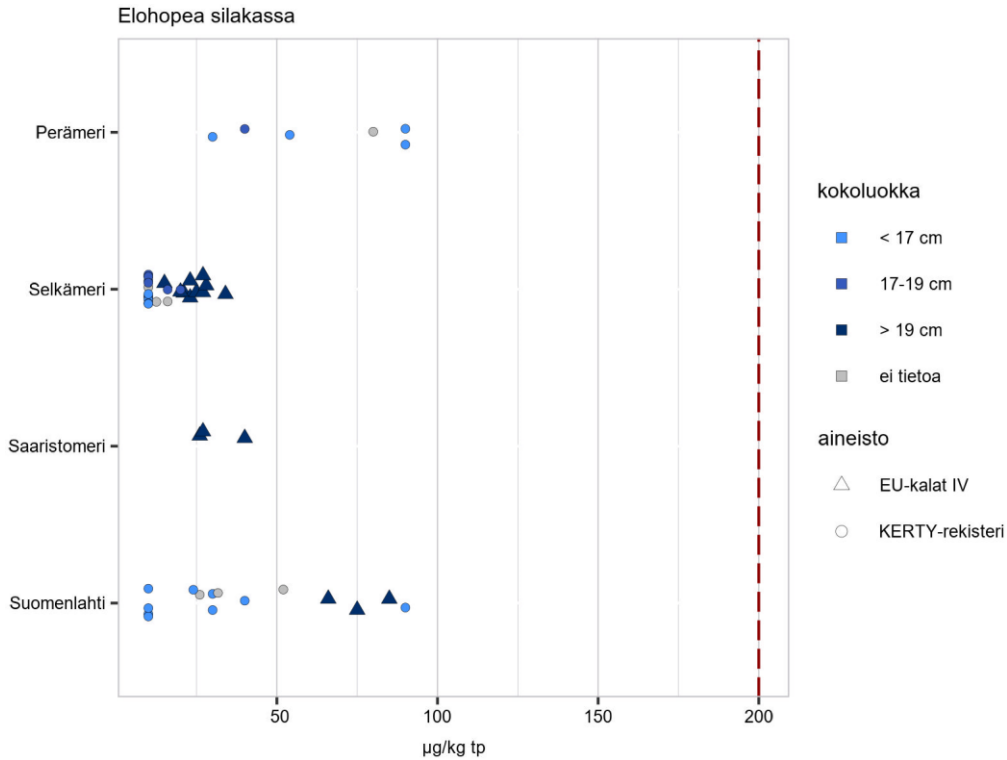
Hankkeen sisävesien ahvennäytteiden PBDE-pitoisuudet olivat samalla tasolla KERTY-rekisterin mittaustulosten kanssa (kuvio 36). Lappajärvellä ja Pielisellä ei KERTY-rekisterissä ole vertailuaineistoa vuosille 2016–2021, mutta näiden järvien näytteiden pitoisuudet olivat samalla tasolla kuin mitä sisävesistä yleisesti mitataan. Lokan näytteessä havaittu ympäristölaatonormin alitus on linjassa KERTY-rekisterin tulosten kanssa, joissa laatonormin alituksia on havaittu vain Lokan ja Inarijärven näytteissä. Hankkeen Inarijärven näytteen yksilöiden koko oli suurempi kuin paikan KERTY-rekisterin näytteissä, mikä voi selittää laatonormin ylityksen. Hankkeen Suomenlahden yli 25 cm pituisten ahventen PBDE-pitoisuus oli hieman vastaavan kokoluokan KERTY-rekisterin mittaustuloksia suurempi, kun taas Perämerellä tämän kokoluokan ahvenissa PBDE-pitoisuus oli KERTY-rekisterin tuloksia pienempi.

Kuvio 36. PBDE-yhdisteiden summapitoisuus ahvenessa. Ympäristölaatunormi 0,0085 µg/kg (ei merkitty kuvaan skaalan vuoksi) ylittyy laajasti.



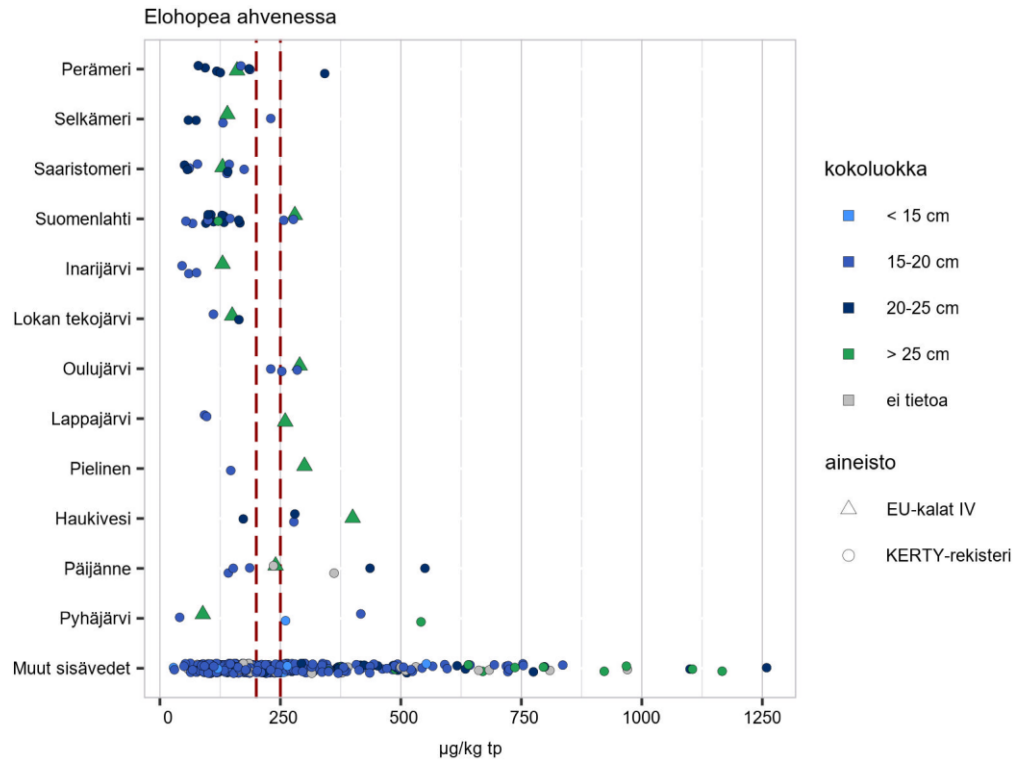
Silakan elohopeapitoisuus alitti meriympäristölle asetetun ympäristölaatunormin 200 µg/kg tp kaikissa hankkeen näytteissä (kuvio 37). KERTY-rekisterissä on vertailuaineistoa hankkeen Selkämeren ja Suomenlahden tuloksille. Hankkeen molempien merialueiden silakkanäytteiden yksilökoko oli KERTY-rekisteriin näytteitä suurempi ja todennäköisesti tästä syystä hankkeen elohopeapitoisuudet olivat KERTY-rekisterin tuloksia korkeampia.

Kuvio 37. Elohopean pitoisuus silakassa. Elohopean ympäristölaatumormi meriympäristössä on esitetty punaisella katkoviivalla.



Hankkeen ahventen elohopeapitoisuus alitti pienimmän aineelle asetetun ympäristölaatumormin 200 µg/kg tp Inarijärvessä, Lokan tekojärvessä, Pyhäjärvessä sekä kaikilla merialueilla Suomenlahtea lukuunottamatta (kuvio 38). Korkeimman, runsashumuksisille järville asetetun ympäristölaatumormin 250 µg/kg tp ylitys mitattiin Haukiveden, Lappajärven, Oulujärven, Pielisen ja Suomenlahden näytteissä. Päijänteen näytteen pitoisuus ylitti humuksisille järville asetetun laatumormin 220 µg/kg. KERTY-rekisterin ahventen elohopeanäytteiden yksilökoko on pääosin hankkeen yksilökoko pienempi, mutta kaikissa paitsi yhdessä KERTY-rekisterin yli 25 cm yksilökoon ahvennäytteissä elohopeapitoisuus on ylittänyt korkeimman ympäristölaatumormin. KERTY-aineiston perusteella ympäristölaatumormi ylittyy Oulujärvessä, Päijänteessä ja Suomenlahdella myös pienemmän kokoluokan ahvennäytteissä, joten ympäristölaatumormin ylitys hankkeen suurikokoisissa ahvenissa on tyypillistä Suomen vesistöille.

Kuvio 38. Elohopeen pitoisuus ahvenessa. Elohopealle asetettu pienin ja suurin ympäristönlaatumnormi on esitetty punaisilla katkoviivoilla.



3.3 Altistuksen arviointi sekä kalankäytön riskien ja hyötyjen vertailu

Tuloksista esitetään aluksi toteutuneeseen kalankäyttöön perustuva arvio suomalaisten altistumisesta tutkituille aineille sekä arvio altistusmäärien muutoksista, mikäli tulevaisuuden kulutusskenaariot toteutuisivat. Näiden jälkeen esitetään riski-hyötyarvio kalan käytöstä nykykulutuksella. Arvio perustuu tautitaakan laskentaan elohopean, dioksiinien, PFAS-yhdisteiden, D-vitamiinin ja omega-3-rasvahappojen saannista ja kalan käytöstä. Lopuksi tarkastellaan erikseen epäorgaaniseen arseeniin liittyvää tautitaakkaa koko ruokavaliosta ja kalankäytön osuudesta siinä. Tuloksiin liittyvä epävarmuus on esitetty 95 % epävarmuusvälien avulla.

Riski-hyötyarviota varten koottiin muusta ruokavaliosta kuin kalan lihasta saatavan altistuksen määrät Suomessa (Taulukko 10 luvussa 2.3.1.3) kokonaisaltistuksen arvioimiseksi. Jotta riskin osuutta ei aliarvioitaisi, dioksiinien ja PFAS-yhdisteiden taustaltistuksen suuruudelle käytettiin EFSA:n arvioimia määriä, vaikka suomalaisten verestä mitattujen pitoisuuksien perusteella EFSA:n arvio yliarvioi suomalaisten altistusta (käsitelty tarkemmin luvuissa 2.3.1.4 ja 3.4).

3.3.1 Suomalaisten altistus nykykulutuksella

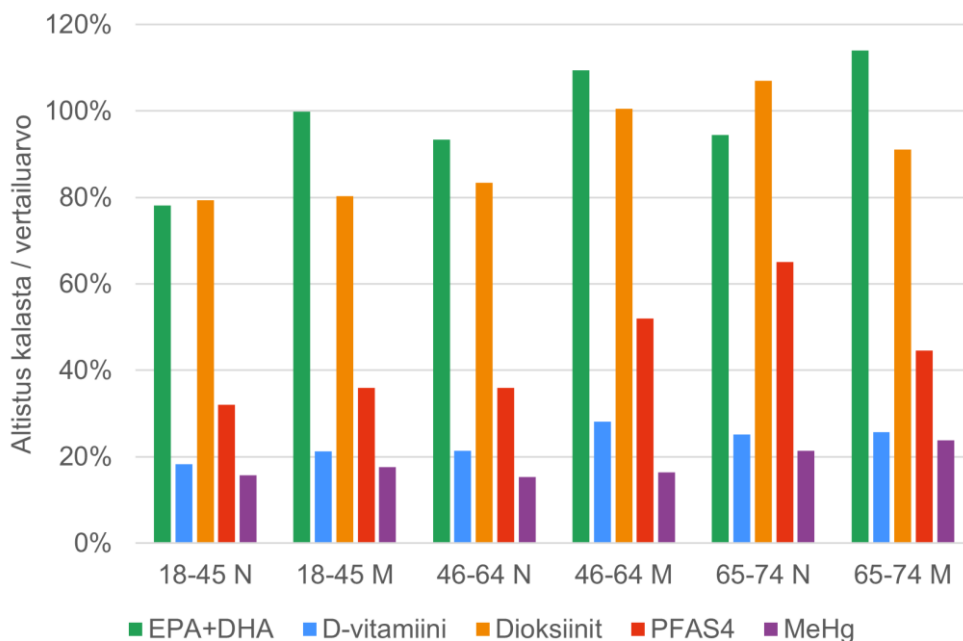
Suomalaisten aikuisten FinRavinto 2017 -tutkimuksessa koottuihin ruoankäyttötietoihin perustuva arvio kalasta saatavan altistuksen suuruudesta laskettiin eri kalalajeja koskevan pitoisuusaineiston rajoitteiden vuoksi kahdessa osassa. Altistus tuontikalasta arvioitiin käyttämällä lajikohtaisia tietoja tutkittujen aineiden keskiarvopitoisuuksista; jotka oli koottu EFSA:n raporteista, Norjan Havforskningsinstituttetin tietokannasta (<https://sjomatdata.hi.no/>, Atlantista pyydetyt lajit) sekä Fineli-tietokannasta (D-vitamiini ja rasvahapot). Muut Riskinarvioinnin taustatiedot -luvussa mainitut kirjallisuuslähteet pitoisuuksista koskivat lajeja, jotka sisältyivät vain seuraavan alaluvun skenaariolaskentaan. Koska saatavilla oli ainoastaan keskiarvotietoja pitoisuuksista, ja eräiden lajien osalta jouduttiin lajikohtaisten arvojen puuttuessa turvautumaan useiden lajien keskiarvotietoon PFAS-yhdisteiden pitoisuuksista, tähän osaan arviosta liittyy enemmän epävarmuutta kuin kotimaista kalaa koskevaan osuuteen.

FinRavinto 2017 -ruoankäyttöaineistossa oli suurin osa kulutuksesta lajeja, joita kalastetaan myös Suomessa: lohta, kirjolohta, silakkaa, ahventa, haukea, muikkua ja sii-
kaa. Näiden lajien osuus oli useimmissa ikäryhmissä 76–88 % painoon suhteutetusta kokonaiskalankäytöstä, poikkeuksena 18–45-vuotiaat miehet, joilla osuus oli 62 %. Näiden lajien osuus kalankäyttöön liittyvästä altistuksestakin on siksi merkittävä. Lohikalajien tuonnin osuuden huomioiden tuontikalalan (lohi ja kirjolohi, tonnikala, silli,

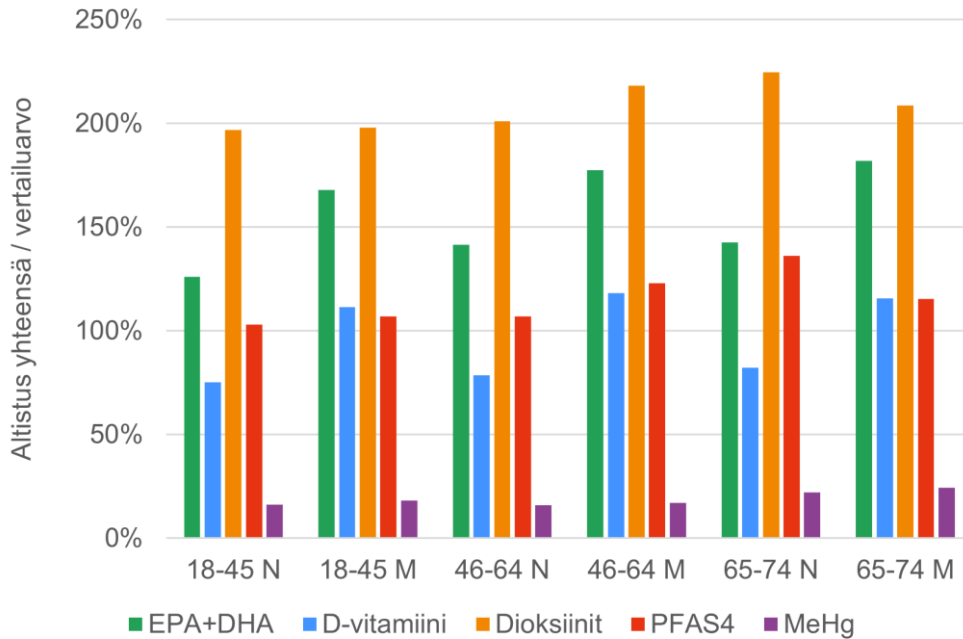
turska, seiti, anjovis, puna-ahven, makrilli, sardiini, tilapia) osuus kokonaiskalankulutuksesta oli 41–63%. Arvot poikkeavat Luken julkaisemasta kalan kulutuksen tilastotiedosta vuodelta 2017, jolloin tuontikalaa syötiin tuotepainona 9,8 kg/hlö ja kotimaista kalaa fileepainona 4,1 kg/hlö (www.luke.fi/fi/tilastot/kalan-kulutus/kalan-kulutus-2017). FinRavinto-aineiston tietoihin ei sisällynyt taustatietoa kalan lähtömaasta.

Riski-hyötyarvioon sisältyvien tekijöiden osalta kokonaisaltistus kalasta FinRavinto 2017 -tutkimuksen mukaisella kulutuksella on esitetty alla kuvaajana, jossa eri sukupuolet ja ikäryhmät on eroteltu (kuvio 39). Altistus epäorgaaniselle arseenille käsitellään erikseen tautitaakka-arvionsa yhteydessä. Lisäksi arvioitiin kotimaisen kalan käyttöön liittyvä altistus PBDE-yhdisteille (Taulukko 12) ja HBCD:lle sekä altistukseen liittyvä terveyshaitan riski.

Kuvio 39. Suomalaisten aikuisten keskimääräinen altistus vierasaineille ja ravintoaineiden saanti kotimaisesta sekä tuontikalasta yhteensä FinRavinto 2017 -ruoankäyttömäärillä. Arvio on esitetty suhteessa aineen TWI- tai AI-arvoon (D-vitamiinille 10 µg/vrk). Tuontikalalan pitoisuudet perustuivat kirjallisuudessa julkaistuihin keskiarvoihin ja kotimaisen kalan pitoisuudet näytekohtaisiin tietoihin. Ikäryhmät ja sukupuolet (N naiset, M miehet) on eroteltu. ”Dioksiinit” sisältää myös dl-PCB-yhdisteet.



Kuvio 40. Suomalaisen keskiarvoaltistus vierasaineille ja ravintoaineiden saanti kalasta sekä muusta ruokavaliosta yhteensä. Arvio on esitetty suhteessa aineen TWI- tai AI-arvoon ja merkinnät ovat samat kuin edellisessä kuviossa.



Kuvien 39 ja 40 tuloksia vertailemalla nähdään, että kalan osuus suomalaisten aikuisten kokonaisaltistuksesta riski-hyötyarvioon sisällyville aineille vaihtelee. Metyylielohopea-altistus oli arvon mukaan lähes kokonaan (97–98 %) peräisin kalan lihasta, PFAS-altistuksesta kalan osuus vaihteli ikäryhmittäin 31 %:sta (hedelmällisessä iässä olevat naiset) 48 %:iin (yli 65-vuotiaat naiset), dioksiinialtistuksesta kalan osuus oli 40–48 %, EPA:n ja DHA:n yhteissaannista 59–66 %, ja D-vitamiinin saannista kalan osuus oli naisilla 24–31 % ja miehillä 19–24 %.

Tausta-altistuksen suuruutta arvioitaessa käytettyjen kirjallisuuslähteiden perusteella aikuisten ruokavaliosta kaikkien omega-3-rasvahappojen suurin lähde ovat erilaiset rasvat. D-vitamiinin päälähteet ovat rasvat, maitovalmisteet ja kala, dioksiinialtistuksen kala, kotieläinten liha sekä juustot, ja PFAS-altistuksen kala, hedelmät, kananmunat sekä maaeläinten liha ja sisäelimet. Metyylielohopealle altistutaan vain kalan ja meren antimien (äyriäiset, nilviäiset) kautta.

Riski-hyötyarvioon sisältyvien vierasaineiden ja hyötyaineiden lisäksi tarkasteltiin myös kotimaisen kalan käyttöön liittyvää riskiä kahden muun vierasaineryhmän saannin näkökulmasta.

EU-kalat III- ja IV -hankkeissa mitatuista kotimaisen kalan neljän PBDE-yhdisteen (BDE-47, BDE-99, BDE-153 ja BDE-209) pitoisuuksista arvioitiin suomalaisten altistus nykykulutuksella. Altistukselle laskettiin MoET viitteen (EFSA 2024) tier 2 -laskentatavan mukaisesti. Suomalaisille aikuisille kotimaisen kalan käytöstä määritetyt MoET-arvot olivat jopa altistuksen P95-arvoilla (eli PBDE-altistuksen kannalta suurkuluttajilla) suuremmat kuin mitättömään riskiin liittyvä MoET 25, joten terveyshaitan riski kotimaisesta kalasta saadusta PBDE-altistuksesta on mitätön. Taulukossa 12 on esitetty suurkuluttajien PBDE-altistus epävarmuusrajoineen eri ikäryhmissä. Suuri epävarmuusväli etenkin BDE-209:llä johtuu määritysrajan alle jäävien tulosten osuudesta pitoisuusaineistossa sekä tiettyjen kalalajien niukasta käytöstä, jonka vuoksi kaksi miesten ikäryhmää oli yhdistettävä arvioissa.

Taulukko 12. Kotimaisen kalan nykykulutuksesta aiheutuva altistus neljälle PBDE-yhdisteelle (P95 eli suurkuluttajan altistus, yksikkönä ng/kg rp/vrk). BDE-209:n epävarmuusvälin yläraja oli aineistosta johtuen epärealistisen suuri, joten selkeyden vuoksi se on merkitty taulukossa NA. N=naiset, M=miehet.

Ikä ja sukupuoli	BDE-47	BDE-99	BDE-153	BDE-209
18–45, N	0,71 (0,4 - 88,9)	0,16 (0,07 - 124)	0,03 (0,02 - 14)	1,8 (0,03 – NA)
46–64, N	0,48 (0,3 - 10,8)	0,11 (0,07 - 158)	0,02 (0,01 - 0,4)	0,75 (0,06 – NA)
65–74, N	0,54 (0,3 - 6,7)	0,15 (0,08 - 8,8)	0,03 (0,02 - 1,1)	1,86 (0,06 – NA)
18–64, M	0,37 (0,2 - 1,07)	0,08 (0,05 - 13,8)	0,02 (0,01 - 2,3)	0,94 (0,02 – NA)
65–74, M	0,44 (0,2 - 9,7)	0,18 (0,05 - 33,7)	0,03 (0,01 - 2,7)	0,65 (0,04 – NA)

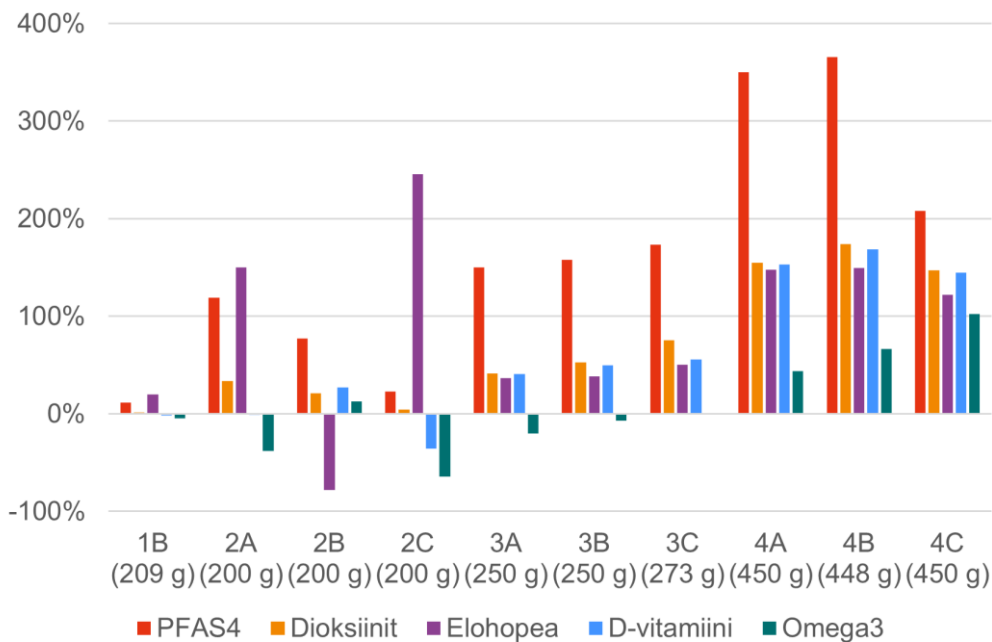
EU-kalat IV -hankkeessa silakasta mitatuista pitoisuuksista arvioitiin myös altistus HBCD:lle. Muista kalalajeista ei ollut kylliksi mittaustuloksia niiden sisällyttämiseksi arvioon. Altistusmäärät olivat kaikissa ikäryhmissä vähäiset: suurinta altistus oli keski-ikäisillä miehillä ja yli 65-vuotiailla naisilla, joilla suurkuluttajien altistus (P95) oli suuruudeltaan 0,02 (0,01–0,11) ng/kg rp/vrk. Keskushermoston kehitykseen liittyvään LOAEL-arvoon verrattuna altistusmarginaali oli kertaluokkaa suurempi kuin turvallisiksi arvioitu, joten HBCD-altistus silakasta ei muodosta terveysriskiä suomalaisille, ja altistusmarginaalin suuruuden vuoksi arvio voidaan laajentaa koskemaan kaikkea kalan käyttöä.

3.3.2 Altistumäärien muutos eri skenaarioissa

Skenaariotarkastelussa altistus arvioitiin 70 kg painoiselle aikuiselle luvussa 2.2.2 ja Liitteessä 3 kuvattujen kalankäyttöskenaarioiden perusteella. Lajikohtaiset kulutustiedot painotettiin alueittain (meri vs. sisävesi, lohikaloilla kotimainen vs. tuonti) ja silakan osalta kokoluokittain (alle 17 cm vs. suuremmat, joiden osuus saaliista on niin pieni, ettei erottelu muiden kokoluokkien mukaan ollut järkevää).

Kuviossa 41 nollakohtana on nykykulutusta kuvaava skenaario 1A. Positiiviset arvot tarkoittavat siis altistuksen (ravintoaineiden tapauksessa saannin) kasvua ja negatiiviset arvot altistuksen vähenemistä edellisessä luvussa arvioidusta nykytasosta.

Kuvio 41. Altistumäärien muutos nykykulutukseen (skenaario 1A) verrattuna. Skenaarioiden kulutusmäärät (viikkoannos suluissa) on laskettu 70 kg aikuisen altistukseksi.



Skenaariovertailuista nähdään, että tyypin 4 skenaarioista 4C on paras, sillä siinä altistus PFAS-yhdisteille ja dioksiineille on vähäisintä suhteessa hyötyaineiden saantiin. Hyötyaineiden saanti on suurempaa skenaariotyyppissä 4 kuin muissa skenaariotyypeissä. Skenaariossa 2B (200 g rasvaisia kaloja) sekä PFAS-yhdisteiden ja dioksiinien että hyötyaineiden saanti on suurempaa kuin nykyisin, ja skenaariossa 2C (200 g vähärasvaisia kaloja) PFAS-yhdisteiden ja dioksiinien saanti kasvaa hiukan nykyisestä, mutta hyötyaineiden saanti vähenee. Omega-3-rasvahappojen saanti vähenee

nykyisestä myös skenaarioissa 2A, 3A sekä minimaalisesti skenaarioissa 1B ja 3B. Elohopea-altistuksen suurinkaan kasvu (skenaario 2C) ei vielä nostanut altistusta yli metyylielohopean TWI-arvon.

3.3.3 Riski-hyötyarvio kalan käytöstä

3.3.3.1 Kooste aiemmista tuloksista

Kalan käytön riskejä ja terveyshyötyjä on vertailtu aiemmin kansallisissa ja kansainvälisissä tutkimuksissa, joissa on keskitytty vaihtelevaan määrään kalalajeja ja terveysvasteeseen liittyviä tekijöitä. Luettelo ei ole kattava kooste.

Itämeren silakkaa koskevassa arviossa (Tuomisto ym. 2015) tarkasteltuina tekijöinä olivat dioksiinit ja dl-PCB:t sekä D-vitamiini ja omega-3-rasvahapot, etenkin DHA ja EPA. Dioksiinien haittavaikutuksina tarkasteltiin hammasvauriota ja syöpäriskiä. Yli 50-vuotiailla terveyshyödyt ylittivät haitat.

GOHERR-tutkimuksessa (Tuomisto ym. 2020) tarkasteltiin Itämeren silakkaa ja lohta, ja aiemmassa arviossa käsiteltyjen tekijöiden lisäksi mukana oli myös metyylielohopea. Yli 45-vuotiaiden naisten ja miesten sekä nuorten miesten terveyshyödyt silakan ja lohen syönnistä ylittivät selvästi terveyshaitat, ja jopa riskiryhmällä eli hedelmällisessä iässä olevilla naisilla ja pikkulapsilla terveyshyödyt olivat yhtä suuret tai suuremmat kuin haitat. Tutkimuksen pitoisuustiedot olivat EU-kalat II -hankkeesta, ja Internetissä tehty kalankäyttökysely oli toteutettu 2016.

GOHERR-projektissa kehitettyä riski-hyötyarvion mallia täydennettiin edelleen PFAS-yhdisteiden vaikutuksella (THL 2021) tarkastellen laajempaa kotimaista kalalajivalikoimaa, ja johtopäätöksenä oli, että kalan käytön hyödyt ylittävät haitat arviossa käytetyillä pitoisuuksilla.

Myös norjalaisessa arviossa (VKM 2022) johtopäätöksenä oli, että kalan käytön lisääminen Norjassa suositellulle tasolle ja jopa sen ylärajaan (450 g/viikko, josta vähintään 200 g/viikko rasvaista kalaa) vähentäisi tautitaakkaa nykyisestä eli olisi terveydelle eduksi. Myös WHO:n ja FAO:n raportissa (2023) havaittiin vahva näyttö kokonaiskalankäytön terveyshyödyille kaikissa elämän vaiheissa, vaikka hyötyihin vaikuttavat väestön tausta-altistus muusta ruokavaliosta sekä muun muassa kalan valmistusmenetelmät sekä lajivalikoima. Raportissa todettiin, että myöhemmissä tutkimuksissa olisi tarpeen erotella kalojen terveysvaikutuksia muun muassa rasvapitoisuuden, pyyntialueen tai kasvatustatukseen mukaan. Seleenin saannin suhde elohopea-altis-

tukseen voi olla merkittävä metyylielohopean haittoihin vaikuttava tekijä etenkin seleeninpuutteesta kärsivässä väestössä. Suomessa seleenin saanti on Luken arvioiden mukaan (Seleeniseuranta 2022) kuitenkin suositusten mukaista.

3.3.3.2 Nyt tehty arvio

Nyt tehdyssä riski-hyötyarviossa mallin rakenne sekä terveystavusteiden laskentaan käytetyt tiedot altistusmääriä lukuun ottamatta olivat samat kuin uusimmassa kansallisessa (THL 2021) arviossa, joten tässä ei kuvata yksityiskohtaisemmin laskennassa käytettyjä oletuksia. Liitteessä 4 on kuvattu tarkemmin mallin syötteitä.

Riski-hyötyarviossa tarkasteltuina terveystavusteina olivat syöpäsairastavuuden lisääntyminen (dioksiinit) ja rintasyöpätapausten väheneminen (omega-3), älykkyys (metyylielohopea vähentää, DHA lisää älykkyysosamäärää), kehityksenaikaiset hammasvauriot (dioksiinit), sperman laadun heikkenemisestä johtuva hedelmällisyyden lasku (dioksiinit), D-vitamiinisuosituksen täyttyminen (D-vitamiini), sydän- ja verisuonitauteihin liittyvän kuolleisuuden vähentyminen (omega-3), immuunijärjestelmän heikkenemisestä johtuva hengityselinsairauksien lisääntyminen (PFAS), sekä kalan käyttöön yhdistettävissä oleva kokonaiskuolleisuuden väheneminen ja masennuksen väheneminen. Viimeksi mainittuja vaikutuksia ei ole voitu toistaiseksi suoraan yhdistää mihinkään kemialliseen tekijään. Kuten Liitteessä 4 on tarkennettu, kaikki tutkituista terveyshaitoista eivät kohdistu koko väestöön vaan esimerkiksi vain alle 5-vuotiaisiin lapsiin (kehityshäiriöt) tai miehiin (sperman laatu, vaikutus liittyy altistukseen lapsuudessa). Arvio tehtiin koko väestölle yhteensä.

Riski-hyötyarvion syötteenä käytetty 18–74 -vuotiaiden altistus kalasta perustui luvussa 3.3.1 kuvattuun arvioon FinRavinto 2017-aineiston mukaisella kulutuksella sekä aiemmin julkaistujen kansallisten (Suomi ym. 2015; Hoppu ym. 2008; Paturi ym. 2008) ja EFSA:n (EFSA 2018; EFSA 2020) altistuksenarviointien tuloksiin alle 18-vuotiaista. Nyt tehdyn arvion ja edellisen riski-hyötyarvion erot aiheutuvat pääosin pitoisuusaineiston sekä ruoankäyttötietojen eroista. Nyt tehdyssä arviossa on ilmeisesti mukana myös joitakin kalalajeja, joita ei edelliseen sisällynyt.

Tuloksia tulkittaessa on huomattava, että negatiivinen tautitaakka / negatiivinen DALY-arvo tarkoittaa terveyshyötyä (kuolemien ja sairastamisen väheneminen). Vaikutuksen ja tekijän mukaan eroteltu tautitaakka koko väestölle yhteensä on esitetty kuvaajissa ja taulukoissa tautitaakkamuodossa, ja kaikista tekijöistä yhteensä koituva terveyshyöty eli negatiivinen tautitaakka on esitetty kahdessa kuvaajassa sukupuolet tai ikäryhmät erotellen. Kaikissa tämän luvun taulukoissa ja kuvaajissa arvot on laskettu vuotta kohden, siis DALY/vuosi tai -DALY/vuosi.

Kuviossa 42 on esitetty kuvaajana Taulukon 13 arvio kalan, D-vitamiinin, omega-3-rasvahappojen, PFAS-yhdisteiden, dioksiinien ja dl-PCB-yhdisteiden sekä metyylielohopean yhteensä aiheuttamasta tautitaakasta Suomessa. Ravintoaineiden ja vierasainesten osalta tarkasteltiin pelkäästä kalasta saatavan altistuksen vaikutusta tausta-altistuksen lisäksi. Merkittävin tekijä oli kalan syönnin kokonaiskuolleisuutta vähentävä vaikutus, jota ei toistaiseksi ole yhdistetty mihinkään yksittäiseen ravintoaineeseen. Tämän jälkeen suurimmat terveyshyödyt koituivat sydänkuolleisuuden vähenemisestä (omega-3-rasvahapot) sekä DHA:n keskushermoston toimintaa parantavasta vaikutuksesta ja D-vitamiinin saannin lisääntymisestä. Metyylielohopean älykkyyttä heikentävä vaikutus oli selvästi vähäisempi kuin DHA:n vastakkainen vaikutus.

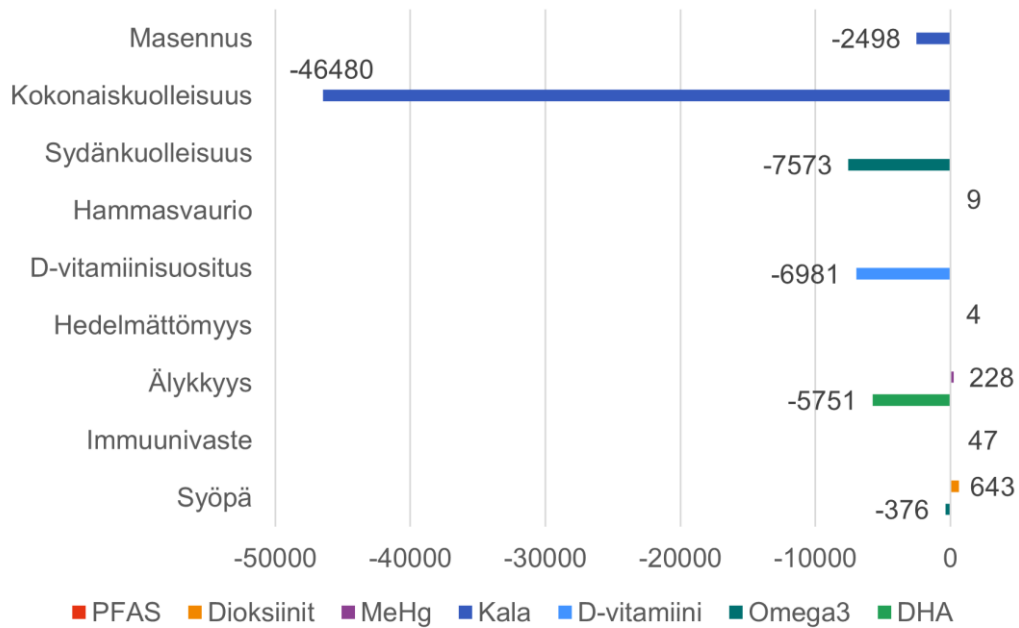
Kaiken kaikkiaan kalan syönnin kokonaisvaikutus nykyisellä kulutuksella on terveyttä edistävä, kuten Suomen koko väestön tautitaakkaa ainekohtaisten vaikutusten summana esittävä kuvio 43 osoittaa. Negatiivinen tautitaakka tarkoittaa terveyshyötyjä. DALY-arviossa terveyshyödyt ovat noin 75 kertaa suuremmat kuin haitat.

Kuviossa 44 on kalan syönnin liittyvä terveyshyöty eroteltu sukupuolittain. Vaihteluvälit ovat suuret kummallakin sukupuolella, mutta miehille koituu kalan syönnistä tällä hetkellä enemmän terveyshyötyjä kuin naisille. Tämä selittyy osittain sukupuolieroilla kalan käytössä ja osittain sillä, että eri sairauksiin ja muihin terveysvaikutuksiin liittyvä kokonaistautitaakka (riski-hyötyarvion syöte IHME UW:n tietokannasta) oli erilainen samaan ikäluokkaan kuuluvilla miehillä ja naisilla myös muiden kuin selkeästi sukupuolisidonnaisten (sperman laatu, rintasyöpä) vaikutusten osalta.

Kuviossa 45 on esitetty kalansyönnin liittyvä terveyshyöty väestössä viisivuotiskäryhmittäin eriteltynä. Nuorimman ikäryhmän arvioon liittyy enemmän epävarmuutta kuin muihin ikäryhmiin altistustietojen (etenkin EPA+DHA taustasaanti) suuremman epävarmuuden vuoksi. Riskinhallintatoimien näkökulmasta kahta nuorinta ikäluokkaa on siksi syytä käsitellä yhtenä kokonaisuutena.

Epäorgaanisen arseenin tautitaakka sekä koko ruokavaliosta että kalan käytön osuudesta siinä arvioitiin erikseen, ja sen merkitystä tässä esitettyjen tulosten lisänä käsitellään seuraavassa luvussa.

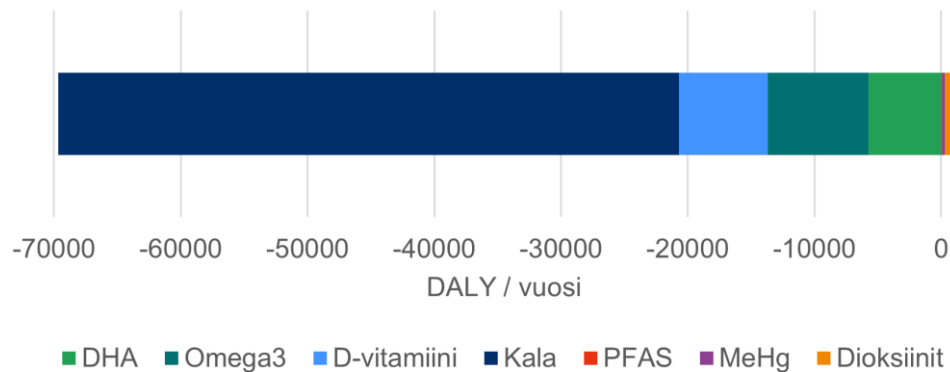
Kuvio 42. Tutkittuihin tekijöihin liittyvä tautitaakka Suomessa vaikutuksen mukaan eroteltuna kalan nykykäytöllä (FinRavinto 2017 ja nuorempien ikäluokkien tuoreimmat kansalliset ruoankäyttötutkimukset). Yksikkönä DALY/vuosi. Negatiivinen arvo tarkoittaa terveyshyötyjä ja positiivinen arvo (punaisen ja violetin eri sävyin väritettyjen vierasaineiden pienet palkit) terveyshaittaa. Kuvaajasta näkyy, että terveyshyödyt ovat suuruudeltaan selvästi haittoja suuremmat koko väestön tasolla.



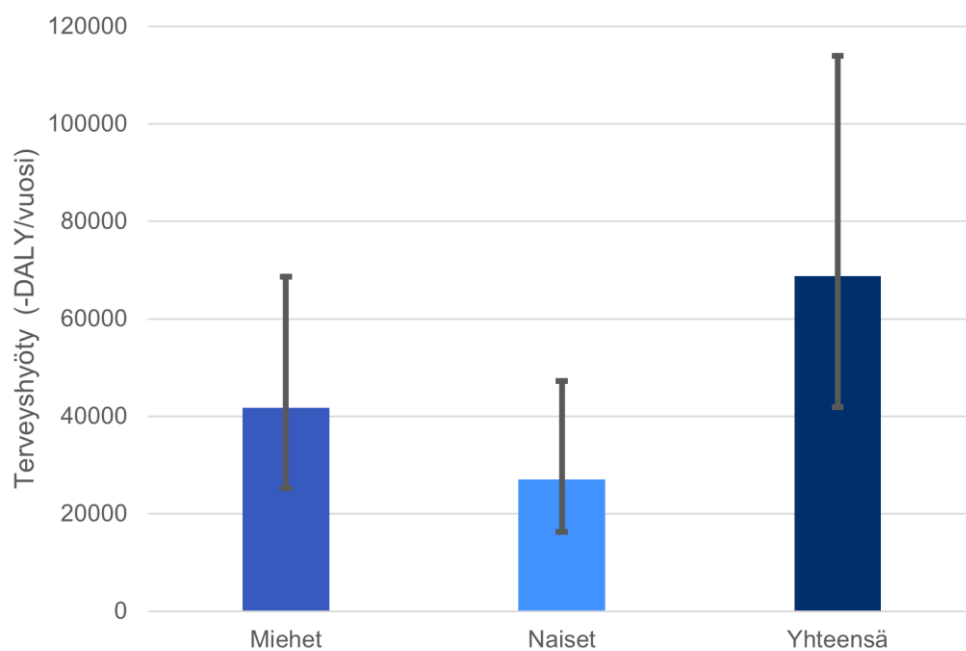
Taulukko 13. Eri altisteisiin liittyvä tautitaakka vaikutuksen mukaan. Vaikutus voi olla hyödyllinen (syöpätapausten väheneminen) tai haitallinen (syöpätapausten lisääntyminen). Negatiiviset DALY-arvot tarkoittavat hyödyllistä vaikutusta eli terveyshyötyä. Summarivi on väestön keskiarvo, joka poikkeaa hiukan rivien suorasta summasta

Vaikutus	Tekijä	DALY/v, keskiarvo	95 % luottamusväli
Syöpä	Omega-3	-376,1	-937 – -84
Syöpä	Dioksiinit	643,1	30 – 1585
Immuunivaste	PFAS	46,9	36 – 59
Älykkyys	DHA	-5751	-34630 – -549
Älykkyys	MeHg	228	0 – 1261
Hedelmättömyys	Dioksiinit	3,9	0,2 – 25
D-vitamiinisuositus	D-vitamiini	-6981	-13420 – -491
Hammasvaurio	Dioksiinit	8,7	0,2 – 46
Sydänkuolleisuus	Omega-3	-7573	-36010 – -61
Kokonaiskuolleisuus	Kala	-46480	-77220 – -23255
Masennus	Kala	-2498	-4220 – -1214
Yhteensä	Keskiarvo	-68730	-114000 – -41800

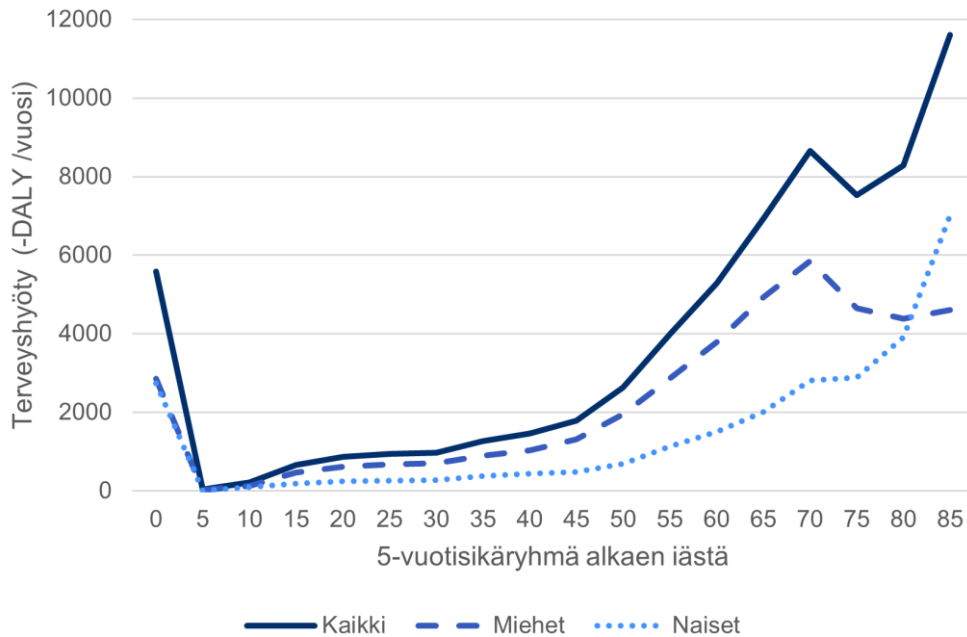
Kuvio 43. Kalan nykykäytön tautitaakka tekijöittäin, eri vaikutukset summattuina. Koko väestöä koskeva arvio. PFAS-altistuksen tautitaakka, suuruudeltaan alle 1 % kuvaajassa esitetystä eri tekijöiden summasta, on vaaleanvihreän DHA:n ja violetin MeHg:n välissä. Negatiiviset DALY-arvot tarkoittavat terveyshyötyjä.



Kuvio 44. Kalan nykykäytön tautitaakka terveyshyötyinä (negatiiviset DALY-arvot) esitettyinä sukupuolen mukaan eroteltuna ja suomalaisille yhteensä. Viikset osoittavat arvon 95 %:n epävarmuusväliä.



Kuvio 45. Kalan nykykäytön terveyshyöty (negatiiviset DALY-arvot) 5-vuotiskäryhmittäin koko väestössä sekä sukupuolet eroteltuina. Pieninkin arvo kummallakin sukupuolella on niukasti terveyshyödyn puolella. Vanhin ikäryhmä kattaa kaikki yli 85-vuotiaat suomalaiset. Nuorinta ikäryhmää koskevaan arvioon liittyy aineistositystä enemmän epävarmuutta kuin muihin ikäluokkiin.

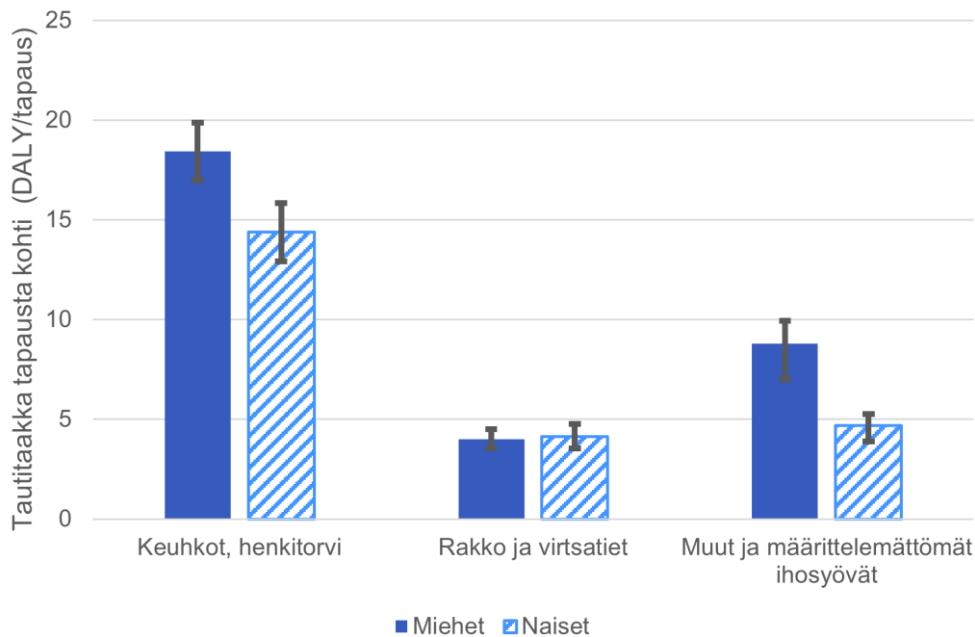


Kalan käytön terveyshyödyt ovat Suomessa siis nyt tehdyn arvion mukaan luokkaa 70 000 säästynyttä DALY. Luvun suuruusluokan havainnollistamiseksi voidaan verrata sitä IHME UW:n (IHME 2020) arvioihin sydän- ja verisuonitautien (n. 356 000 DALY), alkoholin käytön (n. 86 000 DALY), alaselkävun (n. 74 500 DALY), diabetes mellituksen (n. 53 000 DALY) ja eturauhassyövän (n. 21 000 DALY) kokonaistautitaukasta Suomessa vuonna 2019.

3.3.4 Epäorgaanisen arseenin tautitaakka ja merkitys edellä esitetyle riski-hyötyarviolle

Tautitaakka altistuksesta epäorgaaniselle arseenille laskettiin luvussa 2.3.2.3 esitettyllä kaavalla ja Jakobsen ym. (2020) julkaisemia annosvastekertoimia käyttäen. Kuviossa 46 eri syöpätyypeistä, sekä epäorgaaniseen arseeniin että kaikkiin muihin syihin liittyvistä, aiheutuva tautitaakka on esitetty syöpätyypin ja sukupuolen mukaan eroteltuna. Taulukossa 14 on epäorgaaniselle arseenille altistumisen tautitaakka summana näistä syöpätyypeistä yhteensä. Arvioidusta tautitaakasta keuhkosyöpien osuus oli miehillä 56 % ja naisilla 62 %, ihosyöpien osuus miehillä 40 % ja naisilla 30 %, ja virtsarakon syöpien osuus loput 5–7 %.

Kuvio 46. Syöpien kokonaistautitaakka tapausta kohden, kooste 5-vuotiskäryhmittäin lasketusta arviosta tautitaakan sekä todettujen syöpien tapausmäärien nojalla. Kuvioon sisältyvät arseenialtistukseen liittyvät sekä kaikista muista syistä kehittyneet syövät.



Epäorgaanisen arseenin tautitaakan arvioimiseksi laskettiin keskimääräinen elinaikainen päivittäinen iAs-altistus 1–74 -vuotiaille kansallisissa riskinarvioinneissa (Suomi ym. 2015, Suomi ym. 2020) julkaistuista tuloksista. Naisille se oli 0,219 µg/kg rp/vrk ja miehille 0,216 µg/kg rp/vrk. Kansallisissa riskinarvioinneissa suurin osa pitoisuusaineistosta oli mitattu kokonaisarseenina, ja iAs-osuus oli arvioitu vakiokertoimilla, jotka

saattavat yliarvioida altistusta. Muusta ruokavaliosta kuin kalasta saatava altistus arviointiin samalla tavoin, sillä riskinarviointien raakadatatista oli helposti eriteltävissä eri kalalajien osuus kokonaisaltistuksesta. Keskimääräinen elinaikainen iAs-altistus muusta kuin kalasta oli kummallakin sukupuolella noin 0,19 µg/kg rp/vrk.

Kalan syöntiin liittyvä tautitaakka arvioitiin kahdella eri oletuksella, sillä tässä hankkeessa mitatut iAs-pitoisuudet kaikissa kotimaisissa kaloissa olivat alle määrittäjärajan 0,010 mg/kg. Varovainen arvio oletettiin, että kotimaisten kalojen iAs-pitoisuudet olisivat 0,01 mg/kg ja tuontikalojen pitoisuudet vastaisivat EFSA:n raportin (EFSA 2021b) liitteen B UB-keskiarvoja eri lajeille. Toinen arvio perustui kauttaaltaan EFSA:n raportin LB-pitoisuuksiin. Elinaikainen päivittäinen iAs-altistus kaloista arvioitiin kansallisten riskinarviointien vuosina 2001–12 kerättyjen kulutustietojen mukaan varovaisessa UB-skenaariossa 0,0086 µg/kg rp/vrk, ja LB-pitoisuuksien mukaan 0,0035 µg/kg rp/vrk suuruiseksi.

Taulukko 14. Tautitaakka epäorgaaniselle arseenille altistumisesta: koko muu ruokavalio sekä kalan syöntiin liittyvä tautitaakka eri oletuksilla. Luottamusväli on suluisissa. Tulokset on esitetty koko elinaikaa kohden. Vuoden aikana kalasta saatuun altistukseen liittyvä tautitaakka voidaan laskea taulukon arvoista kertoimella 1/50, jota käytettiin myös dioksiinien tautitaakan jakamiseen vuositason.

Arvioitu tekijä	Miehet (DALY)	Naiset (DALY)	Yhteensä (DALY)
Tautitaakka muusta ruokavaliosta	19,90 (17,28–21,90)	14,49 (12,66–16,11)	34,38 (29,94–38,01)
Varovainen (UB) arvio kalaperäisen altistuksen tautitaakasta	0,90 (0,78–0,99)	0,65 (0,57–0,73)	1,55 (1,35–1,72)
Eurooppalaisiin (LB) pitoisuuksiin perustuva arvio tautitaakasta	0,36 (0,32–0,40)	0,27 (0,23–0,29)	0,63 (0,55–0,70)

Kalan syöntiin liittyvä epäorgaanisen arseenin tautitaakka, joka on vuotta kohden enimmillään 0,03 DALY/v, ei vaikuta edellisessä luvussa esitetyn muun riski-hyötyarvion johtopäätöksiin.

3.4 Eri kalalajien turvallinen käyttö riskiryhmään kuuluville

Ruokavirasto (2022) on antanut seuraavat poikkeukset kalan yleisistä syöntisuosituksista lapsille, nuorille ja hedelmällisessä iässä oleville tiettyjen kalalajien elohopea-, dioksiini- tai cesium-137 -pitoisuuksien vuoksi:

- Perkaamattomana yli 17 cm:n silakkaa, Itämerestä pyydettyä lohta tai taimenta, tai järvestä tai merestä pyydettyä haukea tulisi nauttia vain 1–2 kertaa kuukaudessa, ja raskaana olevien tai imettävien tulisi välttää haukea kokonaan.

Lisäksi suositellaan, että sisävesialueiden kalaa päivittäin nauttivien tulisi vähentää hauen lisäksi muidenkin elohopeaa keräävien petokalojen (isokokoiset ahvenet, kuhat, mateet) käyttöä.

Nyt tehdyssä arvioissa on huomioitu eri kalalajien ja eri kalastusalueilta pyydettyjen kalojen elohopea-, dioksiini- ja PFAS-pitoisuudet EU-kalat III- ja IV-tutkimuksissa mitattujen pitoisuuksien mukaisesti. Dioksiinien ja PFAS-yhdisteiden osalta arvioissa nojaututtiin suomalaisten verestä mitattuihin pitoisuuksiin tausta-altistuksen määrittämisessä.

Verinäytteiden perusteella suomalaisten altistus dioksiineille ja PFAS-yhdisteille on vähäisempää kuin EFSA on arvioinut

EFSA:n arviot elintarvikkeista elimistöön kertyvistä määristä ovat selvästi suuremmat kuin THL:n biomonitorointinäytteissä suomalaisten veren dioksiini- ja PFAS-pitoisuuksista. Riski-hyötyarviossa on nojautettu EFSA:n arvioimiin tausta-altistuksen määriin, jotta vierasaineiden haittavaikutuksia ei ainakaan aliarvioitaisi. Kalankäytön turvallisia määriä laskettaessa haluttiin kuitenkin tehdä suomalaisten todellista altistusta tarkemmin kuvaava arvio, ja siksi tausta-altistus muusta kuin kalasta huomioitiin verinäytteistä mitatun suuruisena.

Arvio turvallisista kalankäytön määristä on tehty vain riskiryhmään kuuluville eli pikkulapsille sekä hedelmällisessä iässä oleville naisille, sillä muulle osalle väestöä katsottiin riski-hyötyarvion mukaisesti kalan käytön terveyshyötyjen ylittävän haitat. Myös pikkulapsilla kalan käytön hyödyt arvioitiin haittoja suuremmiksi, mutta koska he ovat terveyshaittojen kannalta herkin ihmisryhmä, altistuksen vähentäminen suuntaamalla kalan käyttöä vähiten vierasaineita sisältäviin lajeihin on turvallisinta. Selkeyden

vuoksi taulukossa on esitetty annosmäärä vain pienimmän viikkoannosarvion tuottaneen vierasaineen kannalta. Mikäli viikkoannosten lukumäärä on kaksi tai suurempi, tämän kalatyyppin käytön rajoittamiselle ei ole syytä.

Taulukon 15 tuloksista nähdään, että perkaamattomana yli 17 cm ja yli 19 cm silakalle turvalliset käyttömäärät ovat samansuuruiset. Alle 19 cm silakan turvallinen käyttömäärä on jonkin verran pienempi kuin alle 17 cm silakalla (aikuisille kuukaudessa 1,3 annosta alle 19 cm tai 2 annosta alle 17 cm kaloja). Pienikokoisempia silakoita suosien voi siis vähentää altistusta vierasaineille, mutta suurikokoisempienkaan käyttö ei terveyshaittojen näkökulmasta ole pois suljettua.

Taulukko 15. Kala-annokset (95 % luottamusväli), joilla riskiryhmään kuuluvan dioksiini-, PFAS- tai elohopea-altistus yhdessä muun ruokavalion kanssa on enintään TWI-arvon suuruinen eli terveyshaitan riski on mitätön. Hedelmällisessä iässä olevilla naisilla annoskokona on 100 g, pikkulapsilla 50 g. Arvio perustuu EU-kalat III- ja IV-hankkeiden pitoisuuksiin.

Kalalaji, tarkentava kuvaus	Rajoittava tekijä ^a	Naiset, 70 kg, annoksia / viikko	Pikkulapset, 15 kg, annoksia / viikko
Ahven, sisävesi	PFAS	4,1 (2,4 - 6,2)	1,7 (1 - 2,7)
Ahven, meri	PFAS	0,7 (0,5 - 0,8)	0,3 (0,2 - 0,3)
Hauki, sisävesi	MeHg	1,9 (1,8 - 2,1)	0,8 (0,8 - 0,9)
Hauki, meri	PFAS	1,0 (0,8 - 1,3)	0,4 (0,3 - 0,6)
Kilohaili, meri	Dioksiinit	0,5 (0,4 - 0,7)	0,2 (0,2 - 0,3)
Kuha, sisävesi	MeHg	3,4 (2,8 - 4)	1,5 (1,2 - 1,7)
Kuha, meri	PFAS	0,9 (0,7 - 1,1)	0,4 (0,3 - 0,5)
Kuore, meri	PFAS	0,1 (0,1 - 0,1)	0,03 (0,02 - 0,04)
Lahna, sisävesi	PFAS	2,7 (1,4 - 4,8)	1,2 (0,6 - 2)
Lahna, meri	PFAS	1,0 (0,7 - 1,2)	0,4 (0,3 - 0,5)
Lohi, meri	Dioksiinit	0,1 (0,1 - 0,1)	0,1 (0 - 0,1)
Made	PFAS	1,4 (1,1 - 1,9)	0,6 (0,5 - 0,8)
Muikku, sisävesi	Dioksiinit	1,2 (1 - 1,5)	0,5 (0,4 - 0,6)
Muikku, meri	PFAS	1,3 (0,5 - 2,7)	0,6 (0,2 - 1,2)
Nahkiainen	Dioksiinit	0,1 (0,1 - 0,2)	0,1 (0 - 0,1)

Kalalaji, tarkentava kuvaus	Rajoittava tekijä ^a	Naiset, 70 kg, annoksia / viikko	Pikkulapset, 15 kg, annoksia / viikko
Siika, sisävesi	Dioksiinit	2,4 (1,1 - 4,6)	1,0 (0,5 - 2)
Siika, meri	Dioksiinit	1,3 (0,9 - 1,7)	0,6 (0,4 - 0,7)
Silakka, 17+ cm	Dioksiinit	0,2 (0,2 - 0,2)	0,1 (0,1 - 0,1)
Silakka, <17 cm	Dioksiinit	0,5 (0,4 - 0,6)	0,2 (0,2 - 0,2)
Silakka, 19+ cm	Dioksiinit	0,2 (0,1 - 0,2)	0,1 (0,1 - 0,1)
Silakka, <19 cm	Dioksiinit	0,3 (0,2 - 0,4)	0,1 (0,1 - 0,2)
Särki, sisävesi	PFAS	6,7 (4,5 - 9,5)	2,9 (1,9 - 4,1)
Särki, meri	PFAS	1,5 (1,2 - 1,8)	0,6 (0,5 - 0,8)

a. Dioksiineille ja PFAS-yhdisteille tausta-Altistuksen arvioitiin olevan suomalaisten verestä mitattujen keskiarvopitoisuuksien mukaista.

Pohjoismaisissa ravitsemussuosituksissa (Blomhoff ym. 2023) painotetaan ympäristön kannalta kestävien kalalajien käyttöä. Parhailaan kommentoitavana olevassa (heinäkuun 2024 tilanne) suomalaisten ravitsemussuosituksen luonnoksessa annetaan konkreettisia ohjeita kestävien kalalajien valintaan. Yleisellä tasolla kestävyysnäkökulmasta suositeltavia ovat sisävesien luonnonkalat, ja kestävinä valintoina mainitaan erityisesti sisävesien ahven, hauki, lahna, muikku ja särki. Suositusluonnoksessa viitataan WWF:n kalaoppaaseen (WWF 2023), jossa useimmat taulukon 15 kalat luokitellaan suositeltaviksi valinnoiksi. Poikkeuksen muodostavat ainoastaan Itämerestä pyydetty lohi ja merialueilta pyydetty siika. Vuonna 2015 julkaistussa oppaassa silakkaa pidetään kestäväenä valintana, mutta Itämeren silakkakanta on heikentynyt viime vuosina, ja EU:n maatalous- ja kalastusneuvosto pienensi silakan kalastuskiintiötä vuodelle 2024 (Maa- ja metsätalousministeriö 2023). Riskiryhmiin kuuluvien osalta turvallisuuskäytökohdat kuitenkin rajoittavat useimpien sisävesien luonnonkalojen käyttöä (Taulukko 15). Tässä työssä sekä EU-kalat III -tutkimuksessa (Airaksinen ym. 2018) tehtyjen pitoisuusmittausten perusteella pikkulapsilla ainoastaan sisävesien särjen turvallinen käyttömäärä on suurempi kuin kaksi viikoittaista annosta. Hedelmällisessä iässä olevilla naisilla lisäksi sisävesien ahvenen, kuhan, lahnan ja siian turvallinen käyttömäärä ylittää kaksi viikkoannosta. Pikkulasten ja hedelmällisessä iässä olevien naisten vierasainealtistuksen vähentäminen monipuolisella kalankäytöllä ja kalalajien käyttöä koskevien suositusten noudattamisella lisäisi entisestään kalan käytön arvioituja terveyshyötyjä.

Tulosten tulkinnassa on huomioitava, että sisävesien haukea ja kuhaa lukuunottamatta dioksiinit ja PFAS-yhdisteet olivat niiden lasten ja nuorten hedelmällisyyteen ja

immuniteettiin kohdistuvien haittojen takia hallitsevia rajoittavia tekijöitä. Kirjallisuudessa on kuitenkin tuloksia kalaöljyjen vastakkaisista vaikutuksista näiden haitoille. Immuniteettiin liittyen kalaöljyt vähensivät keuhkoputken tulehduksen riskiä 5–9 kk ikäisillä lapsilla (Pastor 2006), nopeuttivat 9–12 kuukauden iässä immuniteetin kypsymistä (Damsgaard 2007) ja vähensivät ja lyhensivät ylähengitysteiden infektiota 9–12 vuoden ikäisillä nuorilla (Thienprasert 2009). Viimeksi mainittu tutkimus oli kalaöljyn annostelun satunnaistettu kaksoissokkokoe, eli näyttövoimaltaan paras mahdollinen, millaista vierasaineille ei ole mahdollista tehdä. Lisäksi itse ilmoitettu kalaöljyn käyttö 19 vuoden ikäisillä miehillä oli yhteydessä suurempaan siemennesteen määrään, siittiöiden kokonaismäärään, kiveksen kokoon sekä lisääntymishormonien edullisempiin pitoisuusjakauksiin (Jensen 2020). Näiden vastakkaisten vaikutusten tarkempi kvantitatiivinen analyysi syöntisuositukseen ei kuitenkaan ollut tämän hankkeen puitteissa mahdollinen. On kuitenkin mahdollista, että jatkoanalyysi voisi muuttaa olennaisesti turvallisiksi arvioituja annosmääriä.

4 Johtopäätökset

4.1 Pitoisuudet ja niiden trendit

Itämerellä dioksiinien ja PCB-yhdisteiden pitoisuuksien trendi on ollut laskeva jo 1980-luvulta lähtien. Silakan ja kilohailin pitoisuudet olivat tässä hankkeessa korkeammat kuin EU-Kalat III -hankkeessa, mutta sen selittää näyteenoton painottuminen nyt suurempiin kokoluokkiin. Kaikkiaan dioksiinien ja PCB-yhdisteiden pitoisuudet silakassa näyttävät asettuneen kaikilla merialueilla ja kokoluokilla enimmäismäärien tuntumaan tai niiden alle. Dioksiinien tulokset ovat hyvin samanlaisia kuin dioksiini- ja PCB-yhdisteiden summalla, mutta pitoisuudet ovat hieman korkeammat.

PBDE-yhdisteiden pitoisuudet olivat hyvin pieniä ja laskevia tai vakaita kaikissa kalalajeissa.

Silakkaa lukuun ottamatta kaikkien kalalajien PFAS-pitoisuudet olivat enimmäismäärien alapuolella. Tämän lisäksi silakan PFAS-pitoisuudet nousivat varsin voimakkaasti vuosien 2009 ja 2023 välillä. Myös ahvenen pitoisuudet nousivat, mutta selvästi vähemmän. Saman merialueen ja samojen kokoluokkien silakoista tiedetään, että PFAS-pitoisuudet nousivat paljon syksystä 2022 kevääseen 2023. Vuodenaikatrendin epäiltiin liittyvän kalan ravintoon, mutta silakan PFAS-pitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä on tarpeen tutkia myöhemmin lisää.

Elohopean pitoisuudet olivat yhtä taimen- ja yhtä kuhanäytettä lukuun ottamatta pienempiä kuin komission asetuksessa (EU) 2023/915 annetut enimmäismäärät. Kokonaiselohopean ja metyylielohopean tuloksista laskettiin kalalajeittain metyylielohopean osuus kokonaiselohopeasta. Metyylielohopean osuus vaihteli välillä 56–94 %. Suurin osuus metyylielohopeaa havaittiin lahnassa ja muikussa, kun taas pienin osuus rasvaisemmissa kaloissa kuten lohessa ja nieriässä.

Epäorgaanisen arseenin pitoisuudet olivat kaikissa tutkituissa näytteissä alle määrittäjärajän 0,01 mg/kg. Näytteistä havaittiin kvalitatiivisesti orgaanisen arseenin muotoja, mutta niitä ei voitu kvantitoida käytössä olevalla menetelmällä. Matalien epäorgaanisen arseenin pitoisuuksien vuoksi aiemmissa kansallisissa riskinarvioinneissa on kalan osuutta altistuksesta epäorgaaniselle arseenille yliarvioitu, koska arvioita tehdessä oli käytettävissä vain kokonaisarseenipitoisuuksia. Tässä hankkeessa tehdyn epäorgaanisen arseenin tautitaakkaa koskevan arvion yhteydessä altistusarviot päivitettiin.

Kalatuotteissa kaikkien vierasaineiden pitoisuudet olivat pieniä.

Rasvahappojen pitoisuuksissa oli vaihtelua etenkin silakassa, mutta myös lahnassa. Suurimmat omega-3-rasvahappojen pitoisuudet ja EPA+DHA-pitoisuudet olivat silakassa ja muikussa. Rasvahappopitoisuuksissa ei juurikaan ollut eroja merialueiden ja järvialueiden välillä ahvenella, lahnalla ja särjellä. Sen sijaan silakan kokoluokka merialueittain sekä kuntokerroin vaikutti rasvahappojen pitoisuuksiin. Lihavat silakat sisälsivät luonnollisesti enemmän rasvahappoja eli rasvaa. Kalatuotteiden rasvahappopitoisuudet erosivat tuoreiden kalojen pitoisuuksista todennäköisesti joidenkin tuotteiden sisältämien kasviöljyjen vuoksi.

Merialueiden kaloissa D-vitamiinipitoisuudet olivat keskiarvopitoisuuksista laskettuna sisävesiin verrattuna ahvenella lähes viisi, lahnalla neljä ja särjellä kaksi kertaa korkeampia. D-vitamiinipitoisuuden vaihtelevuus kalalajien sisällä oli suurta, eikä se ollut verrannollinen rasvahappojen kokonaismäärään.

Hankkeen näytteissä PFOS:n ympäristölaatu normi ylittyi vain yhdessä Selkämeren kuorenäytteessä, missä aineen pitoisuus oli 1,9-kertainen laatu normiin verrattuna. Hankkeen silakkanäytteiden PFOS-pitoisuudet olivat kaikissa kokoluokissa KERTY-rekisteriin tallennettuja silakan mittaustuloksia suurempia, ja ero oli suurin Selkämerellä. Havaintoa voivat osaltaan selittää erot näytteiden silakkayksilöiden koossa sekä pyyntiajankohdissa. Hankkeen ahvennäytteiden PFOS-pitoisuudet olivat niin rannikolla kuin sisävesissäkin pääosin samalla tasolla kuin KERTY-rekisteriin tallennetut ahventen mittaustulokset.

PBDE-yhdisteiden pitoisuus ylitti ympäristölaatu normin kaikissa hankkeen näytteissä paitsi Lokan tekojärven ahvennäytteissä. Hankkeen silakkanäytteiden kuuden PBDE-yhdisteen summapitoisuus oli hieman KERTY-rekisteriin tallennettuja tuloksia suurempia joissakin kokoluokissa. Hankkeen sisävesien ahvennäytteiden PBDE-pitoisuudet olivat samalla tasolla KERTY-rekisterin mittaustulosten kanssa. Hankkeen Suomenlahden yli 25 cm pituisten ahventen PBDE-pitoisuus oli hieman vastaavan kokoluokan KERTY-rekisterin mittaustuloksia suurempi, kun taas Perämerellä tämän kokoluokan ahvenissa PBDE-pitoisuus oli KERTY-rekisterin tuloksia pienempi.

Silakan elohopeapitoisuus alitti meriympäristölle asetetun ympäristölaatu normin kaikissa hankkeen näytteissä. Hankkeen molempien merialueiden silakkanäytteiden yksilökoko oli KERTY-rekisterin näytteitä suurempi ja todennäköisesti tästä syystä hankkeen elohopeapitoisuudet olivat KERTY-rekisterin tuloksia korkeampia. Hankkeen ahventen elohopeapitoisuus alitti pienimmän aineelle asetetun ympäristölaatu normin Inarijärvässä, Lokan tekojärvässä, Säskylän Pyhäjärvässä sekä kaikilla merialueilla Suomenlahtea lukuun ottamatta, ja suurimman ympäristölaatu normin ylitys mitattiin Haukiveden, Lappajärven, Oulujärven, Pielisen ja Suomenlahden näytteissä. Päijänteen näytteen pitoisuus ylitti humuksisille järville asetetun ympäristölaatu normin. KERTY-aineiston perusteella ympäristölaatu normi ylittyy Oulujärvässä, Päijänteessä

ja Suomenlahdella myös pienemmän kokoluokan ahvennäytteissä, joten ympäristönlaatunormin ylitys hankkeen suurikokoisissa ahvenissa on tyypillistä Suomen vesistöille.

4.2 Terveysvaikutukset nykykulutuksella: altistuksen arviointi ja riski-hyötyarvio

PBDE-yhdisteille (BDE-47, BDE-99, BDE-153 ja BDE-209) tai HBCD:lle altistuminen kotimaisen kalan kautta ei aiheuta kuluttajalle terveysriskiä.

Käytetyillä malleilla arvioidut kalan käyttöön liittyvät terveyshyödyt (kokonaiskuolleisuuden, sydän- ja verisuonitautien, masennuksen sekä rintasyöpätapausten väheneminen, D-vitamiinin riittävä saanti sekä omega-3-rasvahappojen saantiin liittyvä kasvavien lasten älykkyyden paraneminen) ovat nykyisellä ruoankäytöllä kaikilla ikäryhmillä suuremmat kuin kalan sisältämiin vierasaineisiin liittyvät terveyshaitat (syöpätapausten, hammersaurioiden ja immunosuppressiosta johtuvien hengityselininfektioiden lisääntyminen sekä siemennesteen laadun ja älykkyyden heikkeneminen). Koko Suomen mittakaavassa kalan nykykäytön arvioitiin liittyvän lähes 70 000 haittapainotetun elinvuoden säästymiseen vuosittain, toisin sanoen vähentävän kuolemia ja elämänlaatua heikentäviä terveyshaittoja tuolla määrällä. Arviossa huomioitiin sekä kotimaisen että tuontikalan kulutukseen liittyvä altistus. Hyödyt ovat noin 75 kertaa haittoja suuremmat.

Käytettävissä olevan tiedon perusteella terveyshyödyn määrä ei kuitenkaan ole vakio kaikissa ikäryhmissä. Vähiten terveyshyötyä saavat nyt tehdyn arvion mukaan alle 9-vuotiaat lapset, joilla silti hyödyt ylittävät niukasti haitat kummallakin sukupuolella. Tästä ikäryhmästä lähtien terveyshyöty lähtee kasvuun, ja yli 45-vuotiailla terveyshyödyn kasvu on voimakkaampaa kuin 10–45 -vuotiailla, joskin naisilla kasvun kulmakerroin on noin 70 vuoden ikään asti pienempi kuin miehillä. Miehillä nykyiseen kalan käyttöön liittyvä terveyshyöty on suurempaa kuin naisilla, mikä liittyy todennäköisesti miesten suurempiin toteutuneisiin kalankäyttömääriin sekä sukupuolieroihin myös muiden kuin selkeästi sukupuolisidonnaisten (sperman laatu, rintasyöpä) terveysvaiteiden kaikista syistä johtuvassa kokonaistautitaakassa. Lasten muita ikäryhmiä vähäisemmät terveyshyödyt voivat osittain selittyä sillä, että käytetyt mallit ovat lasten osalta haittapainotettuja, mikä vääristää myös hyöty-haitta-analyyysien lähtötietoja ja siten tuloksia. Mallit eivät esimerkiksi ottaneet huomioon kalaöljyjen immuniteettiin ja miesten lisääntymisterveyteen liittyviä hyötyjä. Lisäksi hyötyjen ja haittojen aikajänne vaikuttaa tulkintaan: kalaöljyt esimerkiksi parantavat myös lapsilla veren rasva-arvoja, mutta kalan käytön jatkuessa hyödyt realisoituvat tässä tutkimuksessa mitattavina terveyshyötyinä vasta vanhemmalla iällä.

Edellä mainittujen tulosten perusteella turvallisen kalankäytön ohjeiden noudattaminen olisi tärkeintä pikkulapsille sekä sikiö- ja imetysaikaisen altistumisen hallitsemiseksi. Niukasti dioksiineja ja metyylielohopeaa sisältävien kalalajien suosiminen lisääisi hyötyvaikutusta, samoin vähäisemmässä määrin PFAS-altistuksen vähentäminen. Monipuolinen kalankäyttö auttaa osaltaan saavuttamaan nämä tavoitteet.

Edelleen arviossa hyödynnettyjen lasten ja nuorten altistustiedot perustuivat vanhoihin ruoankäyttöaineistoihin. Tuoreemmilla aineistoilla ei ole arvioitu vierasainealtistusta. Alle 18-vuotiaita koskevan riski-hyötyarvion osan päivittäminen uusimpiin kansallisiin ruoankäyttöaineistoihin perustuvilla tuloksilla olisi tarpeen, mutta päivityksen vaatimaan laajaan altistuksen arviointiin (vierasainealtistus kalan käytöstä sekä koko muusta ruokavaliosta) ei ollut tämän hankkeen budjetin puitteissa mahdollisuutta. Arvion laajempi päivitys voitaisiin toteuttaa myöhemmin erillisenä hankkeena, jos sille järjestyy rahoitus.

Epäorgaanisen arseenin saantiin liittyvä tautitaakka kalan syönnistä on vuotta kohden enimmillään 0,03 DALY/v, eikä tällä ole käytännön merkitystä suomalaisten terveydelle etenkin muun riski-hyötyarvion tuloksiin verraten. Myös elintarvikeperäisen iAs-altistuksen kokonaistautitaakka, noin 36 DALY elinaikana eli alle 1 DALY/v, on vähäisempi kuin aiemmin (Suomi ym. 2019) arvioitiin elintarvikeperäisen liijyaltistuksen, 570 DALY/v, tai eräistä Itämeren kaloista saadun dioksiinialtistuksen, 22 DALY/v, suuruudeksi Suomessa.

4.3 Kalankäyttöön liittyvät johtopäätökset

Terveysvaikutusten perusteella kalan käyttö on terveydelle eduksi lähes kaikille kuluttajaryhmille. Myös vierasaineiden haittavaikutusten osalta herkintä väestöryhmää olevilla, eli pikkulapsilla ja raskaana olevilla tai imettävillä naisilla, terveyshyödyt ylittävät haitat, mutta erotus on tietyillä ikäryhmillä melko pieni.

Tässä työssä sekä EU-kalat III -tutkimuksessa (Airaksinen ym. 2018) mitattujen kalänäytteiden perusteella sisävesiltä pyydetyn särjen syöntiä ei ole tarpeen rajoittaa edes riskiryhmään kuuluvilla. Lisäksi riskiryhmään kuuluvat aikuiset voivat turvallisesti nauttia sisävesiltä pyydettyä kuhaa, lahnaa tai siikaa, sekä ahventa ja haukea, ellei kyseisessä vesistöissä tiedetä esiintyvän keskimääräistä suurempia elohopea- tai muita vierasainepitoisuuksia. Kasvatetuissa kaloissa vierasaineiden pitoisuudet ovat rehun koostumuksen ja laadunvalvonnan ansiosta yleisesti selvästi matalampia kuin saman lajisissa luonnonkaloissa, joita luvun 3.3 arvio koskee. Lisäksi tavallisissa kasvatusolosuhteissa esim. rehun PFAS-yhdisteet kertyvät hyvin vähän kasvatetun kalan syöttäviin osiin.

Hedelmällisessä iässä olevien naisten sekä pikkulasten olisi tulosten perusteella syytä rajoittaa kuoreen, merestä pyydetyn luonnonlohen, nahkiaisen, sekä perkaamattomana yli 17 cm:n silakan syöntiä noin kertaan kahdessa kuukaudessa, kuoreen korkeiden PFAS-pitoisuuksien takia pariin kertaan vuodessa, jos altistus vierasaineille halutaan pitää niin matalana, ettei terveyshaitan riskiä esiinny lainkaan.

4.4 Kalankäytön skenaarioiden mahdollinen vaikutus

Väestötasolla ravintoaineiden (omega-3 ja erikseen DHA, D-vitamiini) terveyshyödyt ovat selvästi suuremmat kuin vierasaineiden terveyshaitat. Vaikka tässä tutkimuksessa ei laajennettu riski-hyötyarviota eri kalankäyttöskenaarioiden (luku 3.3.2) tarkasteluun, tulos antaa viitteitä siitä, että ravintoaineiden saantia lisäävät skenaariot olisivat väestötasolla kokonaisvaikutukseltaan positiiviset, vaikka vierasaineidenkin saanti kasvaisi vastaavasti. Pohjoismaisten ravitsemussuosituksen kalankäytön ylärajaan perustuvista skenaarioista paras oli kotimaisen kalan edistämishojelman tavoitteita hyödyntäen laadittu skenaario 4C, jossa vierasaineiden saanti oli vähäisempää kuin muissa 450 gramman viikkoannokseen perustuvissa skenaarioissa ja D-vitamiinin sekä omega-3-rasvahappojen saanti oli suurinta. Skenaariossa 4C kotimaisen luonnonkalan käyttö on kotimaisen kalan edistämishojelman mukaista, ja suuri osa siihen sisältyvästä rasvaisen kalan käytöstä koostuu kasvatetusta lohesta, kotimaisesta kirjolohesta sekä silakasta.

Vertailtaessa 200 gramman viikkoannoksen koostamista rasvaisista kaloista tai vähärasvaisista kaloista havaittiin, että rasvaisia kaloja syömällä D-vitamiinin ja hyödyllisten rasvahappojen ja toisaalta myös dioksiinien ja PFAS-yhdisteiden saanti oli suurempaa kuin vähärasvaisista kaloista. Ravintoaineiden saantiin liittyvän tautitaakan vähenemisen suuruuden vuoksi voidaan arvioida, että kokonaisvaikutus rasvaisten kalojen syönnistä on terveydelle eduksi.

Norjan riski-hyötyarvion johtopäätöksissä mainittu rasvaisen kalan suositeltava käyttö vähintään 200 g/viikko määrinä (ja lisäksi vähärasvaista kalaa) vaikuttaisi siis ainakin aikuisväestön terveydelle edulliselta myös kotimaisen kalan pitoisuuksien perusteella.

Nuorimpien ikäluokkien kohdalla johtopäätöksiä lasten kalankäytön muutosten terveysvaikutuksista ei kuitenkaan voi tehdä ilman tarkentavia arvioita, koska ero hyötyjen ja haittojen välillä oli käytettävissä olleiden tietojen nojalla niin pieni.

5 Yhteenveto johtopäätöksistä ja suositukset

Itämerellä dioksiinien ja PCB-yhdisteiden pitoisuuksien trendi on ollut laskeva vuodesta 2002 lähtien, ja pitoisuudet silakassa näyttävät asettuneen kaikilla merialueilla ja kokoluokilla enimmäismäärien tuntumaan tai niiden alle.

Kalalajien PFAS-pitoisuudet olivat enimmäismäärien alapuolella silakkaa lukuun ottamatta. Tämän lisäksi silakan PFAS-pitoisuudet nousivat varsin voimakkaasti vuosien 2009 ja 2023 välillä. Saman merialueen ja samojen kokoluokkien silakoista tiedetään, että PFAS-pitoisuudet nousivat paljon syksystä 2022 kevääseen 2023. Vuodenaikatarendin epäiltiin liittyvän kalan ravintoon, mutta silakan PFAS-pitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä kuten vuodenaikojen ja kuntokertoimen vaikutusta on tarpeen tutkia myöhemmin lisää, ja silakan PFAS-pitoisuuksia on syytä seurata.

Nykyisellä ruoankäytöllä kalan kulutukseen liittyvät terveyshyödyt ovat kaikilla ikäryhmillä suuremmat kuin kalan sisältämiin vierasaineisiin liittyvät terveyshaitat. Eniten terveyshyötyä saavat yli 45-vuotiaat, joilla kalan käyttö vähentää muun muassa sydän- ja verisuonitautien sekä rintasyöpien tautitaakkaa ja kokonaiskuolleisuutta. Koko Suomen mittakaavassa kotimaisen sekä tuontikalan nykykäytön arvioitiin vähentävän kuolemia ja elämänlaatua heikentäviä terveyshaittoja vuosittain lähes 70 000 haittapainotetun elinvuoden (DALY) edestä.

Vähiten terveyshyötyä kalan käytöstä saavat lapset, vaikka heilläkin hyödyt ylittävät niukasti haitat. Useimmat riski-hyötyarvioon sisältyvät terveyshaitat koskettavat erityisesti lasten kehittyvää elimistöä, ja siksi pikkulasten ja sikiöiden (riskiryhmä) paremmaksi suojaamiseksi arvioitiin turvallisia kalankäyttömääriä eri vesistötyyppien kalalajeille. Niukasti dioksiineja ja metyylielohopeaa sisältävien kalalajien suosiminen kalan käytössä lisäisi hyötyvaikutusta riskiryhmällä, samoin vähäisemmässä määrin PFAS-altistuksen vähentäminen.

Arvioon sisältyneistä lajeista sisävesiltä pyydettyä särkeä sekä kasvatettua kalaa voi lisätä lasten ruokavalioon lähes rajoituksetta lisäämättä terveyshaitan riskiä. Hedelmällisessä iässä olevat naiset voivat näiden lajien lisäksi nauttia sisävesiltä pyydettyä ahventa, kuhaa, lahnaa ja siikaa enemmän kuin 200 grammaa viikossa ilman, että vierasaineiden siedettävän saannin enimmäisraja ylittyy. Tähän yleiskuvaan ovat poikkeuksena vesistöt, joissa on todettu tavanomaista suurempia elohopea-, dioksiini- tai PFAS-pitoisuuksia ja joiden kaloissa pitoisuudet voivat siis olla korkeampia kuin

tässä hankkeessa tai EU-kalat III-hankkeessa mitatut. Sisävesien kemiallisesta tilasta on julkaistu mm. Suomen ympäristökeskuksen sivuilla karttakuvia (www.ymparisto.fi/fi/ympariston-tila/vesi/sisavesien-kemiallinen-tila), joiden avulla ja tarvittaessa paikallisviranomaiselta tarkempia tietoja kysyen kuluttaja voi päätellä, onko oman lähi-vesistön kalojen käyttöä aihetta rajoittaa. Monipuolinen kalan kulutus on joka tapauksessa suositeltavaa kaikille väestöryhmille.

Liitteet

Luettelo liitteistä

Liite 1. Näytteenotto ja näytekohtaiset tulokset

Liite 2. Menetelmien yksityiskohdat

Liite 3. Kalalajien kulutus eri skenaarioissa

Liite 4. Altistuksen arviointi ja riski-hyötyanalyysi

Liite 1. Näytteenotto ja näytekohdaiset tulokset

Näytekohdaiset analyysitulokset ovat saatavilla Excel-tiedostona Zenodon Knowledge Junctionissa (DOI 10.5281/zenodo.12543216; tiedoston versio 1 linkissä <https://doi.org/10.5281/zenodo.12543217>). Ne on rinnakkaistallennettu myös EU-Kalat IV -hankkeen kotisivulle www.ruokavirasto.fi/EU-kalatIV.

Taulukossa 16 on eritelty näytteenoton ajankohta ja alue, poolin suuruus sekä keskipituus, minimi- ja maksimipituus.

Taulukko 16. Hankkeessa otetut näytteet. Valmiista tuotteista useimmat oli säilötty öljyyn, muikუსäilykkeistä yksi pooli oli tomaattikastikkeessa ja toinen pooli oli koostettu puoliksi veteen, puoliksi öljyyn säilötyistä kaloista. Kaksi silakka-poolista oli jaettu kuntokertoimen mukaan.

Pooli	Laji/tuote	Pvm	Näytteenotto- alue	Yksilöitä	Keski- pituus cm	Min. cm	Maks cm
M1	Silakka	12.4.22	Selkämeri, etelä- osa	47	14,4	12,6	15,9
M2	Silakka	12.4.22	Selkämeri, etelä- osa	50	16,8	16,0	17,9
M3B	Silakka	22.9.22	Selkämeri, etelä- osa	25	18,6	18,0	18,9
M3B	Silakka	29.9.22	Selkämeri, etelä- osa	25	18,4	18,0	18,9
M3C laihat	Silakka	3.2.23	Selkämeri, etelä- osa	25	18,4	18,0	18,8
M3C lihavat	Silakka	3.2.23	Selkämeri, etelä- osa	25	18,3	17,8	18,9
M4A	Silakka	12.4.22	Selkämeri, etelä- osa	-	-		
M4B	Silakka	22.9.22	Selkämeri, etelä- osa	25	19,8	19,0	20,9
M4B	Silakka	29.9.22	Selkämeri, etelä- osa	25	19,5	19,0	20,9

Pooli	Laji/tuote	Pvm	Näytteenotto- alue	Yksilöitä	Keski- pituus cm	Min. cm	Maks cm
M4C laihat	Silakka	3.2.23	Selkämeri, etelä- osa	25	19,4	19,0	20,2
M4C lihavat	Silakka	3.2.23	Selkämeri, etelä- osa	25	19,3	19,0	19,9
M5	Silakka	12.4.22	Saaristomeri	40	16,7	15,4	17,4
M6	Silakka	12.4.22	Saaristomeri	40	18,2	17,2	18,6
M7	Silakka	12.4.22	Saaristomeri	34	19,7	18,1	20,2
M8	Silakka	7.4.22	Suomenlahti	30	16,7	16,1	17,5
M9	Silakka	7.4.22	Suomenlahti	28	18,0	18,0	18,5
M10	Silakka	7.4.22	Suomenlahti	20	20,0	19,0	21,2
M11	Kilohaili	25.1.23	Selkämeri, etelä- osa	17	12,7	12,6	13,3
M12	Kilohaili	14.11.22	Saaristomeri	30	12,8	12,3	13,4
M13	Kilohaili	16.11.22	Suomenlahti	30	12,8	12,5	13,0
M14	Lohi	13.6.22	Selkämeri, kes- kiosa	3	86,3	85,0	88,0
M15	Lohi	13.6.22	Selkämeri, kes- kiosa	3	100,0	96,0	106,0
M16	Muikku	18.11.22	Perämeri	30	15,2	13,8	16,3
M17	Kuore	25.9.22	Selkämeri	10	15,9	14,6	16,6
M18	Särki	6.6.22	Perämeri	14	19,9	16,8	21,0
M19	Särki	8.6.22	Selkämeri	15	19,5	18,2	20,9
M20	Särki	15.5.22	Saaristomeri	13	20,4	19,3	21,2
M21	Särki	10.5.22	Suomenlahti	15	18,7	15,2	21,3
M22	Ahven	12.5.22	Perämeri	15	26,0	23,4	26,4
M23	Ahven	18.4.22	Selkämeri	15	26,1	24,4	30,1
M24	Ahven	21.5.22	Saaristomeri	16	26,8	25,0	28,4
M25	Ahven	3.4.22	Suomenlahti	15	26,3	24,0	30,0

Pooli	Laji/tuote	Pvm	Näytteenotto- alue	Yksilöitä	Keski- pituus cm	Min. cm	Maks cm
M26	Kuha	2.5.22	Selkämeri, etelä- osa	16	42,6	40,0	53,0
M27	Kuha	11.5.22	Saaristomeri	17	42,3	39,9	43,8
M28	Kuha	3.4.22	Suomenlahti, itä- osa	15	42,0	40,4	44,9
M29	Lahna	6.6.22	Perämeri	15	47,2	41,0	52,6
M30	Lahna	27.5.22	Selkämeri	14	50,3	44,0	54,9
M31	Lahna	15.5.22	Saaristomeri	12	44,6	41,5	47,0
M32	Lahna	3.4.22	Suomenlahti	15	43,4	38,9	48,9
M33	Siika	31.10.22	Perämeri	15	27,0	25,0	29,3
M34A	Siika	4.5.22	Selkämeri	5	36,0	34,8	36,8
M34B	Siika	21.9.22	Selkämeri	10	35,5	32,0	53,8
M35	Siika	25.9.22	Saaristomeri	10	37,8	33,1	42,0
M36	Siika	9.10.22	Suomenlahti	14	33,9	29,9	41,1
S37	Muikku	29.9.22	Päijänne, Tehin- selkä	30	14,2	13,3	16,2
S38	Muikku	20.1.23	Saimaa, Puru- vesi	30	12,6	9,7	15,6
S39	Muikku	10.10.22	Oulujärvi	36	11,7	11,0	13,1
S40	Muikku	17.11.22	Haukivesi	30	15,4	14,2	17,7
S41	Hauki	18.4.23	Pielinen	14	59,9	53,3	66,5
S42	Särki	29.9.22	Päijänne, Tehin- selkä	15	18,0	16,3	19,3
S43	Särki	22.6.22	Oulujärvi	16	18,4	12,0	21,2
S44	Särki	24.5.22	Haukivesi	15	17,4	15,6	22,1
S45	Särki	18.4.23	Pielinen	15	17,0	14,7	19,6
S46	Särki	22.5.22	Säkylän Pyhä- järvi	14	19,9	17,8	22,6

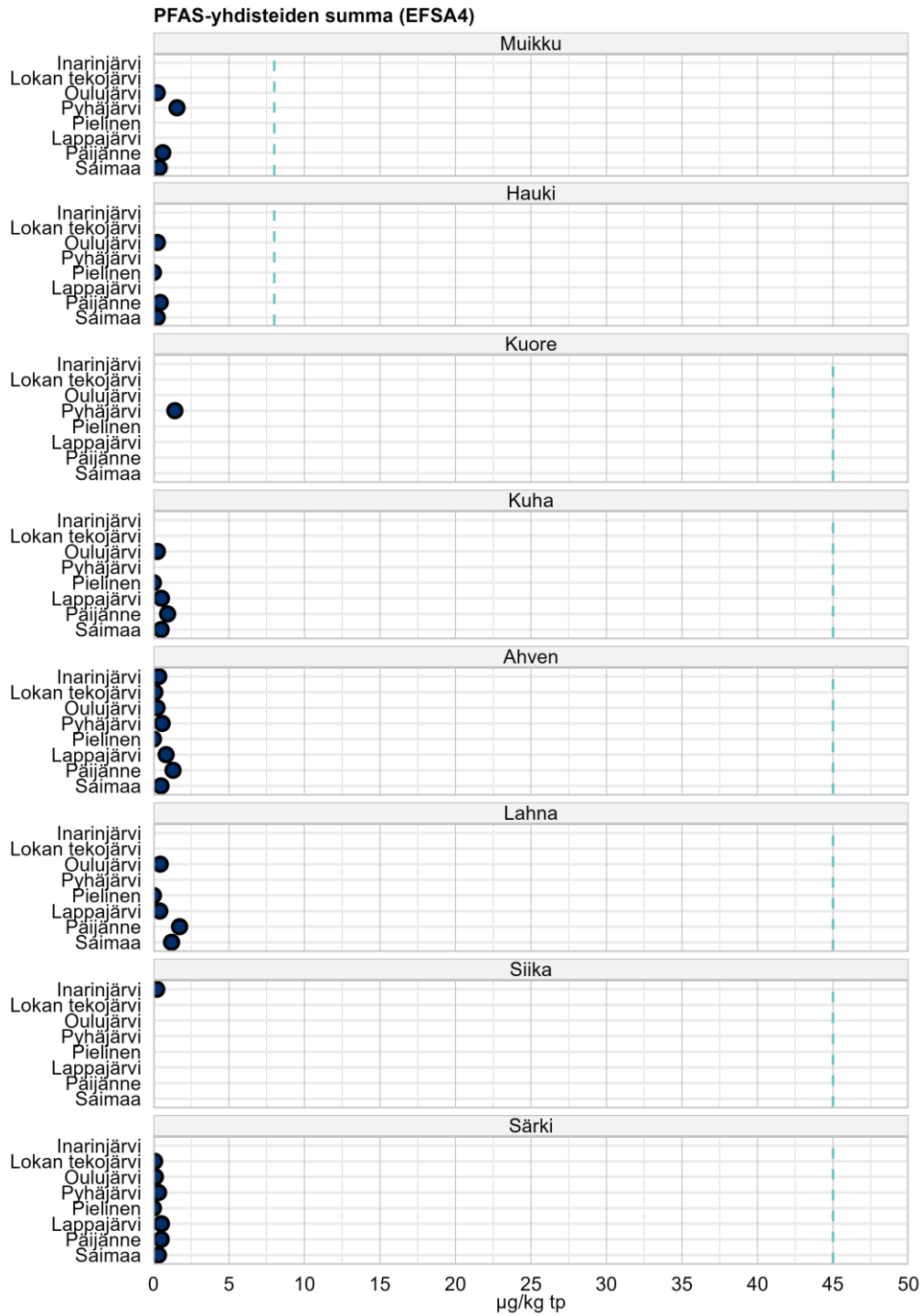
Pooli	Laji/tuote	Pvm	Näytteenotto- alue	Yksilöitä	Keski- pituus cm	Min. cm	Maks cm
S47	Särki	2.6.22	Lappajärvi	15	20,8	16,2	25,6
S48	Särki	7.6.22	Lokka	15	19,8	17,8	21,0
S49	Ahven	22.6.22	Päijänne, Tehin- selkä	15	20,7	18,4	23,0
S50	Ahven	22.6.22	Oulujärvi	15	19,3	17,9	21,6
S51	Ahven	24.5.22	Haukivesi	15	29,7	25,0	33,7
S52	Ahven	18.4.23	Pielinen	9	18,5	17,8	21,0
S53	Ahven	3.6.22	Säkylän Pyhä- järvi	15	21,1	15,3	26,5
S54	Ahven	2.6.22	Lappajärvi	15	22,3	19,2	25,8
S55	Ahven	7.6.22	Lokka	15	20,6	19,7	21,5
S56	Ahven	13.6.22	Inarinjärvi	15	20,5	17,4	24,2
S57	Lahna	29.9.22	Päijänne, Tehin- selkä	15	45,6	40,6	50,2
S58	Lahna	29.6.22	Oulujärvi	15	45,1	40,9	50,2
S59	Lahna	24.5.22	Haukivesi	15	48,9	43,9	54,0
S60	Lahna	18.4.23	Pielinen	15	39,4	33,7	44,2
S61	Muikku	30.10.22	Säkylän Pyhä- järvi	30	20,9	19,4	22,7
S62	Lahna	2.6.22	Lappajärvi	15	44,6	35,8	54,8
S63	Kuha	17.11.22	Päijänne, Tehin- selkä	15	47,5	42,4	48,5
S64	Kuha	22.6.22	Oulujärvi	15	45,6	43,0	50,8
S65	Kuha	24.5.22	Haukivesi	15	50,1	44,8	60,9
S66	Kuha	18.4.23	Pielinen	15	45,2	42,4	48,5
S67	Kuha	2.6.22	Lappajärvi	15	47,2	41,2	54,1
S68	Kuore	2.8.22	Säkylän Pyhä- järvi	30	13,1	12,0	14,4

Pooli	Laji/tuote	Pvm	Näytteenotto- alue	Yksilöitä	Keski- pituus cm	Min. cm	Maks cm
S69	Hauki	22.6.22	Päijänne, Tehin- selkä	15	65,7	55,2	78,2
S70	Hauki	24.5.22	Saimaa, Hauki- vesi	15	64,7	56,4	74,9
S71	Hauki	29.6.22	Oulujärvi	15	60,7	54,4	69,0
S72	Taimen	8.7.22	Inarinjärvi	12	55,0	50,0	62,2
S73	Siika	7.1.22	Inarinjärvi	15	33,4	29,3	40,2
A74	Valmis tuote; lah- nasäilyke	3.3.23	Tehdas	-	-	-	-
A75	Valmis tuote, särki- säilyke	-	Tehdas	-	-	-	-
A76	Valmis tuote; ah- vensäilyke	28.2.23	Tehdas	-	-	-	-
A77	Valmis tuote; muik- kusäilyke	28.2.23	Tehdas	-	-	-	-
A78	Raaka- massa, särki	11.5.22	Tehdas, useita järviä ja meri	-	-	-	-
A79	Raaka- massa, särki	22.10.22	Tehdas	-	-	-	-
A80	Valmis tuote, järvi- kalapuikot	11.5.22	Tehdas, useita järviä ja meri	-	-	-	-
A81	Valmis tuote, hauki- säilyke	22.10.22	Tehdas	-	-	-	-
A82	Raaka- massa, muikku	22.10.22	Tehdas, Ala- Kitka	-	-	-	-

Pooli	Laji/tuote	Pvm	Näytteenotto- alue	Yksilöitä	Keski- pituus cm	Min. cm	Maks cm
A83	Raaka- massa, hauki	22.10.22	Tehdas, Kurtin- järvi	-	-	-	-
A84	Valmis tuote, särki- säilyke	22.10.22	Tehdas	-	-	-	-
A85	Valmis tuote, muik- kusäilyke	22.10.22	Tehdas	-	-	-	-
A86	Raaka- massa, lahna	12.5.22	Tehdas, Pohjan- maan merialue	-	-	-	-
A90	Kasvatettu kirjolohi, meri	15.10.22	merialue	5	55,4	50,5	59,0
A91	Kasvatettu kirjolohi, meri	2.9.22	merialue	5	53	48,0	57,0
A92	Kasvatettu kirjolohi, si- sävesi	2.1.23	sisävesi, kierto- vesi	5	45,8	42,0	48,9
A93	Kasvatettu siika, meri	21.12.22	merialue	5	49,9	48,8	50,9
A94	Kasvatettu siika, sisä- vesi	2.1.23	sisävesi, kierto- vesi	5	42,8	41,2	44,1
A95	Kasvatettu nieriä, sisä- vesi	2023	sisävesi, kierto- vesi	5	45,3	44,5	46,0

Luvussa 3.1.1.4 todettiin kalalajien vierasainepitoisuuksien erojen sisävesialueilla olevan vähäisiä. Useilta sisävesiltä oli hankkeessa mitattu vain yksi näyte. Kuviossa 47 on esimerkinomaisesti neljän PFAS-yhdisteen summapitoisuus sisävesialueittain ja kalalajeittain. Muiden vierasaineiden osalta ei esitetä kuvaajia, koska näytekohtaiset lukuarvot ovat saatavilla yllä linkitettyssä Excel-tiedostossa.

Kuvio 47. Neljän PFAS-yhdisteen summa sisävesien kalanäytteissä alueittain ja lajeittain.



Liite 2. Menetelmien yksityiskohdat

Rasvahappoanalyysit

Rasva uutettiin pakkaskuivatuista kalanäytteistä metanolilla ja metyyli-tert-butyylieetterillä, ja rasvahapot vaihtoesteröitiin metyyliestereiksi käyttäen asetyylikloridia metanolissa (1:9) (Ostermann ym., 2014). Rasvahappojen kvantitointi tehtiin käyttäen sisäisenä standardina 13:0 rasvahappoa sisältävää triasyyliglyserolia (T-135, Nu-Chek-Prep) ja ulkoisena standardina 16:0 rasvahappoa sisältävää triasyyliglyserolia (T-5888, Sigma-Aldrich). Rasvahappojen metyyliesterit kvantitoitiin kaasukromatografisesti (6890 N, Agilent Technologies) käyttäen liekki-ionisaatiodetektoria (FID), CP-Sil 88 kolonnia (100 m × 0.25 mm sisähalkaisija, kalvon paksuus 0.2 µm, Agilent Technologies) lämpötilaohjelmalla (Shingfield ym., 2003) sekä vetyä kantajakaasuna (206.8 kPa, alkuvirtausnopeus alussa 2,1 mL min⁻¹). Rasvahappokoostumus laskettiin käyttäen teoreettisia vastekertoimia (Wolff ym., 1995).

D-vitamiinianalyysi

Kolekalsiferolin eli D3-vitamiinin määrittäminen tehtiin pakastetuista kalanäytteistä. Esikäsitely koostui näytteen saippuoinnista yön yli, uutosta ja puhdistuksesta preparatiivisella suorafaasi nestekromatografialla (Shimadzu LC-20A Prominence HPLC-DAD). Kolonnina oli Watersin µ-Porasil (300 x 3,9 mm, 10 µm) ja liikkuvana faasina isokraattisesti heksaani : isopropanoli (98,8 : 1,2 v/v). Puhdistuksessa kerätty D-vitamiinifraktio haihdutettiin kuiviin, liuotettiin metanoli-vesi-liuokseen (94:6 v/v) ja analysoitiin käänteisfaasi nestekromatografialla (Agilent 1100 HPLC-DAD). Kolonnina oli Vydac 201 TP 54 (250 x 4,6 mm, 5 µm) ja liikkuvana faasina metanoli-vesi -liuos (94:6 v/v). D3-vitamiini kvantitoitiin käyttäen sisäisenä standardina ergokalsiferolia (D2-vitamiinia) (Mattila et al. 1995). Jokaisessa näytesarjassa oli mukana Luken in-house siikareferenssiä, jota on käytetty aikaisemmissa tutkimuksissamme

Dioksiinit ja PCB-, PBDE- ja HBCD-yhdisteiden analyysit

Määritettävät yhdisteet uutettiin kylmäkuivatusta näytteestä paineistetulla liuotinuutolla (ASE, Accelerated Solvent Extraction) käyttäen uuttoluottimena 15 % etanoli-tolueneina. Liuotin haihdutettiin pois ja näytteen rasvaprosentti määritettiin gravimetrisesti. Näytteestä poistettiin rasva rikkihapposilikapylvällä, josta dioksiinit, PCB- ja PBDE-yhdisteet eluoiitiin heksaanilla omaan fraktioonsa alla olevaan jatkopuhdistukseen. HBCD eluoiitiin omaan fraktioon dikloorimetaanilla, mikä haihdutettiin pois ja liuotettiin metanoliin LC-MS/MS ajoa varten (kts. alla).

Dioksiinien, PCB-, ja PBDE-yhdisteiden puhdistusta jatkettiin alumiinioksidi- ja aktiivihiilipylväillä, joiden avulla dioksiinit ja non-ortho-PCB-yhdisteet erotettiin muista yhdisteistä. Kvantitoinnissa käytettiin sisäisinä standardeina kunkin yhdisteen 13C-leimatua analogia. Yhdisteet analysoitiin GC-MS/MS-laitteella (Agilent 7010 GC-MS/MS System). Käytetty kolonni oli J&W Scientific DB-5 MS (60 m, ID 0,25 mm, 0,25 µm). PBDE-yhdisteille BDE-138, -153, -183 ja -209) käytettiin Phenomenexin ZB-5MSplus kolonnia (6 m, ID 0,18 mm, 0,18 µm).

HBCD:n kvantitoinnissa käytettiin sisäisinä standardeina kunkin yhdisteen 13C-leimatua analogia. HBCD-yhdisteet analysoitiin Thermo Finnigan TSQ Quantum Discovery Max LC-MS/MS-laitteella. Käytetty kolonni oli Waters XBridge C18 (50 x 2,1 mm, 3,5 µm). Jokaisen näytesarjan (n = 4) yhteydessä analysoitiin kontrollinäyte (silakkaa), jonka yhdisteiden pitoisuudet on varmistettu laboratorion sisäisellä 2,5 vuotta kestäneellä seurannalla. Kontrollinäytteen keskimääräiset pitoisuudet ja tulosten keskihajonta olivat erittäin hyvin aikaisempien mittausten mukaiset. Dioksiinien, PCB-yhdisteiden, indikaattori-PCB:n ja PBDE-yhdisteiden summien keskiarvot olivat 96–101 % keskimääräisestä pitoisuudesta ja suhteelliset keskihajonnat 1,1–3,1 %.

HBCD-näytesarjan (n=4) yhteydessä analysoitiin myös kontrollinäyte (silakkaa), jonka HBCD:n pitoisuudet on varmistettu laboratorion sisäisellä 2,5 vuotta kestäneellä seurannalla. HBCD:n summan keskiarvo oli 81–99 % keskimääräisestä pitoisuudesta ja suhteellinen keskihajonta 8,1 %.

THL:n kemian laboratorio osallistuu vuosittain kansainväliseen Norwegian Institute of Public Health -instituutin järjestämään Interlaboratory Comparison on POPs in Food -vertailukokeeseen. Viimeisimmät tulokset on saatu vuoden 2022 kierrokselta, missä mitattiin vasikan lihaa. Kaikkien 45 POP-yhdisteen, joille kokeen järjestäjä antoi vertailuarvot, tulokset olivat hyväksyttäviä (z-arvot <|2|).

Menetelmät on akkreditoitu (FINAS T077, SFS-EN ISO/IEC 17025:2017).

PFAS-yhdisteet

PFAS-yhdisteiden määrittäminen tehtiin kuten EU-kalat II- ja III -hankkeissa. PFAS-yhdisteet uutettiin kylmäkuivatusta näytteestä metanoliin, ja uute puhdistettiin saostamalla analyysin häiriötekijät ammoniumasetaatilla. Kvantitoinnissa käytettiin sisäisinä standardeina määritettävien yhdisteiden isotooppi-leimattuja analogeja. Yhdisteet määritettiin LC-MS/MS-laitteella (Dionex Ultimate 3000 - Thermo Finnigan TSQ Quantum Discovery Max).

Jokaisen näytesarjan (n = 5) yhteydessä analysoitiin kontrollinäyte, jonka pitoisuudet on varmistettu laboratorion sisäisellä seurannalla. Kontrollinäytteen tulokset olivat erittäin hyvin aikaisempien mittausten mukaiset, ja kaikkien PFAS-yhdisteiden pitoisuudet kontrollinäytteissä olivat niille asetettujen raja-arvojen sisäpuolella. THL:n kemian laboratorio osallistuu kansainvälisiin vertailukokeisiin aina kun se on mahdollista. Viimeisin vertailukoe kalamatriisin osalta järjestettiin vuonna 2022, ja sen tulokset olivat hyväksyttäviä (z-arvot <|2|) THL:n laboratorion osalta.

Menetelmät on akkreditoitu (FINAS T077, SFS-EN ISO/IEC 17025:2017).

Kokonaiselohopea, metyylielohopea ja epäorgaaninen arseeni

Kokonaiselohopea määritettiin DMA (Direct mercury analyzer) -laitteistolla. Menetelmä perustuu standardiin EPA 7473:2007. Kiinteä tuore näytemateriaali punnittiin nikkeliilaivaan, jossa näyte tuhkistettiin 750 °C lämpötilassa. Tuhkistuksessa näytteen sisältämä elohopea höyrystyy ja elohopeahöyry kulkeutuu hapen avulla katalyyttiputkeen, jossa mittausta häiritsevät epäpuhtaudet poistuivat. Tämän jälkeen puhdas kaasumainen näyte kuljetetaan amalgamaattoriin, joka kerää kaiken näytteessä olevan elohopean. Kun amalgamaattorin lämpötila nostetaan nopeasti 850 °C:een, elohopea höyrystyy ja vapautunut elohopeahöyry siirtyy atomiabsorptiospektrofotometriselle detektorille. Detektointi tehtiin käyttäen elohopean absorptioaallonpituutta 253,65 nm. Menetelmä on sama kuin aiemmissa EU-kalat I- ja III -hankkeissa käytetty elohopean määrittämenetelmä.

Metyylielohopea määritettiin samalla DMA-laitteistolla, mutta ennen määrittämistä orgaaninen metyylielohopea uutettiin näytteestä kaksoisuutolla. Menetelmä perustuu standardiin EN 17266:2019. Näyte liuotettiin 25 % (v/v) suolahappoliuokseen, sekoitettiin voimakkaasti ja uutettiin kahdesti tolueeniin. Faasit erotettiin toisistaan sentrifugomalla. Molempien uuttojen orgaaniset faasit (tolueeni) yhdistettiin ja uutettiin 0,002M natriumtiosulfaattiliuokseen. Näytteen metyylielohopean sisältävästä natriumtiosulfaattiliuoksesta otettiin 100 µl näyte, joka analysoitiin DMA-laitteistolla metyylielohopean määrittämiseksi.

Standardiin EN16802:2016 perustuva epäorgaanisen arseenin menetelmä koostui hapettavasta nesteuutosta, suodatuksesta ja analyysistä korkean erotuskyvyn nestekromatografialla (HPLC) yhdistettynä induktiivisesti kytketty plasma – massaspektrometriin (ICP-MS). Menetelmässä arseeniyhdisteet uutettiin hapettavassa nesteuutossa 0,1 M typpihappo ja 10 % (v/v) vetyperoksidi -liuoksessa 90 °C:n vesihauteessa. Uutossa arseniitti As(III) hapettuu arsenaatti As(V):ksi. Liuos sentrifugoitiin ja suodatettiin. Arseeniyhdisteet erotettiin kromatografisesti ja ICP-MS (induktiivisesti kytketty

plasma-massaspektrometri) toimi laiteyhdistelmässä detektorina. Detektoinnissa käytettiin arseenin massalukua 75. Epäorgaanisen arseenin pitoisuus kvantitoitiin As(V):na ulkoisen standardin menetelmällä.

Elohopean, metyylielohopean ja epäorgaanisen arseenin analyysit suoritettiin Ruokaviraston laboratoriossa. Ruokaviraston laboratorio on FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T014, akkreditointivaatimus SFS-EN ISO/IEC 17025:2017.

Liite 3. Kalalajien kulutus eri skenaarioissa

Seuraavassa kuvaillaan ensin eri skenaariot ja niiden laskennassa käytetyt oletukset, ja taulukoissa 17–20 on esitetty kalalajikohtaiset määrät. Lopullisessa laskennassa huomioitiin myös aluepainotukset, jotka on kuvattu tarkemmin luvussa Riskinarvioinnin taustatiedot.

Skenaario 1: Nykytilanteen mukainen kalankäyttö

Skenaario 1A perustuu FinRavinto 2017 -tutkimuksessa kerättyihin ruoankäyttötietoihin. Tutkittavat olivat satunnaisesti valittu alaotos kansallisesti edustavasta FinTerveys2017-väestötöksestä.

Skenaariota varten laskettiin eri kalalajien keskimääräinen kulutus tutkittavaa kohti (g/vrk) raaka-ainemuuttujia käyttäen (THL 2019). Raaka-ainemuuttujaluokitus sisälsi joitakin muuttujia, jotka oli koostettu keskiarvona useasta eri kalalajista. Näiden keskiarvomuttujien käyttömäärät laskettiin yhteen ja kalalajien käyttömääriä kasvatettiin keskiarvokalan ja eri kalalajien summan suhteesta muodostetun kertoimen mukaisesti, jotta kalan kokonaiskäyttömäärä olisi mahdollisimman todenmukainen. FinRavinto-tutkimuksen aineisto ei sisällä tietoa käytetyn kalan alkuperästä. Esimerkiksi lohta on myynnissä sekä kasvatettuna että luonnonvesistä pyydettyinä, ja kirjolohta Suomessa ja ulkomailla kasvatettuna. Koska haitta-aineiden pitoisuudet saattavat vaihdella kalan alkuperän mukaan, jaettiin kulutettu lohi luonnonkalaan ja kasvatettuun kalaan, ja kirjolohi kotimaassa ja muualla kasvatettuun kalaan Luonnonvarakeskuksen kokoamista vuoden 2021 tilastotiedoista (SVT: Luonnonvarakeskus) laskettujen osuuksien mukaisesti.

Skenaariota 1B voisi luonnehtia 'parhaaksi arvioksi nykyisestä kalankulutuksesta'. Se perustuu FinRavinto 2017 -aineistoon kuten edellinen skenaariokin, ja kalan kokonaisuusmäärä on asetettu skenaarion 1A mukaiseksi. Skenaariota 1B on kuitenkin muokattu Luken tilastotietojen (SVT: Luonnonvarakeskus) perusteella. Siihen on lisätty kalalajeja, jotka eivät esiintyneet FinRavinto-aineistossa, ja kalalajien keskinäisiä osuuksia on muokattu tilastoista tunnistettujen käyttötrendien perusteella paremmin nykyhetkeä vastaaviksi.

Skenaario 2: Suomalaisten ravitsemussuositusten mukainen kalankäyttö

Skenaariot 2A–2C pohjautuvat suomalaisten ravitsemussuositusten mukaiseen kalan (vähimmäis)kulutukseen. Kalaa suositellaan syötäväksi 2–3 kertaa viikossa, ja yhden annoksen painoksi arvioidaan noin 100–150 g. Näistä luvuista voidaan määrittää suositelluksi minimikäyttömääräksi 200 g viikossa. Eri kalalajien käyttömäärissä on otettu huomioon Ruokaviraston syöntisuositukset (Ruokavirasto 2022). Syöntisuosituksen mukaan lasten, nuorten ja hedelmällisessä iässä olevien tulisi syödä isokokoista silakkaa tai vastaavasti Itämerestä pyydettyä lohta tai taimenta vain 1–2 kertaa kuussa, ja järvestä tai merestä pyydettyä haukea samoin vain 1–2 kertaa kuussa. Näiden lukujen perusteella silakan + luonnonlohen sekä toisaalta hauen suurimmaksi suositelluksi viikkoannokseksi skenaarioon 2 asetettiin 50 g. Silakan ja luonnonlohen osuudet tästä 50 grammasta asetettiin skenaarion 1 (toteutunut kulutus) mukaiseksi.

Lisäksi kalansyöntisuosituksen mukaan raskaana olevien ja imettävien äitien ei tulisi syödä lainkaan haukea, ja sisävesialueiden kalaa päivittäin syöviä suositellaan vähentämään muidenkin elohopeaa keräävien petokalojen (isokokoinen ahven, kuha ja made) käyttöä. Näitä suosituksia ei otettu huomioon skenaariossa 2.

Koska hyöty- ja haitta-aineiden pitoisuudet aiemman tiedon perusteella vaihtelevat kalan rasvapitoisuuden mukaan, tehtiin skenaariosta 2 kolme versiota, jossa vähärasvaisen ja rasvaisen kalan osuudet poikkeavat toisistaan. Tiedot kalalajien rasvapitoisuudesta poimittiin Fineli-koostumustietokannasta (THL 2019). Selvää raja-arvoa, jonka perusteella kalalaji voitaisiin luokitella rasvaiseksi tai vähärasvaiseksi, ei ollut helppo määrittää. Raja-arvona käytettiin 5 prosentin rasvapitoisuutta, joka mainitaan esimerkiksi FAO:n dokumentissa (Myers 1981).

Skenaariossa 2A suosituksen mukainen määrä 200 g on jaettu tasan vähärasvaisten ja rasvaisten kalalajien kesken. Haukea sekä silakkaa + luonnonlohta sisältyy skenaarioon kalansyöntisuosituksesta johdettu enimmäismäärä 50 g/vko. Muiden kalalajien määrät on laskettu niin, että sekä vähärasvaisten että rasvaisten kalalajien summa on 100 g / viikko ja keskinäiset osuudet toteutuneen käytön mukaiset eli samat kuin skenaariossa 1B.

Skenaarioon 2B sisältyy ainoastaan rasvaisia kalalajeja. Silakan ja luonnonlohen määrät ovat samat kuin skenaariossa 2A. Kalalajien summa on 200 g/viikko ja muiden kalalajien kuin silakan ja luonnonlohen keskinäiset osuudet perustuvat toteutuneeseen käyttöön (skenaario 1B). Vastaavasti **skenaariossa 2C** on ainoastaan vähärasvaisia kalalajeja, haukea on 50 g/viikko, ja muiden lajien osuudet vastaavat toteutunutta käyttöä.

Skenaario 3: Kotimaisen kalan edistämishojelman tavoitteen mukainen käyttö

Skenaario 3 pohjautuu Kotimaisen kalan edistämishojelmassa (Valtioneuvosto 2021) esitettyihin tavoitteisiin. Tavoitteisiin kuuluu, että vajaasti hyödynnettyjen kotimaisten kalalajien (silakka, kilohaili, särkikalat, kuore ja muikku) käyttö viisinkertaistuisi ja muun kotimaisen pyydetyn kalan käyttö kaksinkertaistuisi. Muuhun pyydettyyn kalaan sisällytimme ahvenen, siian, kuhan ja hauen, vaikkakin siikaa myös kasvatetaan Suomessa. Kaikissa skenaarioissa 3A–C näiden kalalajien määrät ovat tämän tavoitteen mukaiset.

Skenaarioissa 3A ja 3B kalan kokonaismääräksi on asetettu edistämishojelmassa mainittu määrä 250 g/viikko. Muiden kalalajien (kasvatettu kala ja tuontikala) osuudet ovat toteutuneen käytön mukaiset. Skenaarioita kuvaa luonnehdinta "Kotimaisen luonnonkalan käyttö lisääntyy ja osittain korvaa muuta kalaa". Lisäksi skenaariossa 3A kasvatettu lohi sekä tuontikirjolohi on kokonaan korvattu kotimaisella kirjolohella, kun taas skenaariossa 3B lohikalajien osuudet vastaavat toteutunutta käyttöä.

Skenaariossa 3C kotimaisten luonnonkalojen määrät olivat edistämishojelman tavoitteiden mukaiset eli samat kuin skenaarioissa 3A ja 3B. Kasvatetun ja tuontikalan määrät vastasivat toteutunutta käyttöä, jolloin kalan kokonaismäärä ylitti ohjelman tavoitteen 250 g/viikko. Skenaariota voi luonnehtia kuvauksella "Kotimaisen luonnonkalan käyttö lisääntyy ja muun kalan käyttö pysyy ennallaan".

Skenaario 4: Pohjoismaisten ravitsemussuosituksien ylärajan mukainen käyttö

Uusissa pohjoismaisissa ravitsemussuosituksissa kalaa suositellaan käytettäväksi 300–450 g viikossa, josta vähintään 200 g tulisi olla rasvaista kalaa. Skenaariossa 4 kalalajien osuudet pohjautuvat skenaarioihin 3A ja 3B (kotimaisen kalan edistämishojelman mukainen käyttö), mutta kalan kokonaismäärää on kasvatettu suosituksen ylärajan 450 g/viikko mukaiseksi. **Skenaariossa 4A** kasvatettu lohi sekä tuontikirjolohi on korvattu kotimaisella kirjolohella kuten skenaariossa 3A, ja **skenaariossa 4B** lohikalajien osuudet ovat toteutuneen käytön mukaiset. Skenaariota 4 kuvaa luonnehdinta "Kalan käyttö lisääntyy paljon, erityisesti kotimaisen luonnonkalan käyttö".

Taulukko 17. Kalojen käyttö toteutuneeseen kulutukseen perustuvissa skenaarioissa. Arvot grammoina viikossa, prosenttiosuus suluisissa. Skenaario 1A pohjautuu Finravinto 2017 -tutkimuksen tuloksiin ja skenaariossa 1B on lisäksi huomioitu Luonnonvarakeskuksen v. 2021 pyyntitilastot.

Kalalaji	1A (g/vko, %)	1B (g/vko, %)
Lohi, kasvatettu	65,8 (31,4)	65,8 (31,4)
Lohi, luonnon-	1,0 (0,5)	1,0 (0,5)
Kirjolohi, kotimainen	48,8 (23,3)	38,0 (18,1)
Kirjolohi, tuonti-	7,1 (3,4)	5,7 (2,7)
Tonnikala	23,6 (11,3)	23,6 (11,3)
Seiti	16,7 (8,0)	16,7 (8,0)
Silakka	11,4 (5,4)	11,4 (5,4)
Ahven	7,7 (3,7)	13,4 (6,4)
Muikku	6,6 (3,2)	6,6 (3,2)
Siika	6,3 (3,0)	6,3 (3,0)
Hauki	4,6 (2,2)	5,7 (2,7)
Turska	3,8 (1,8)	3,8 (1,8)
Silli	3,1 (1,5)	3,1 (1,5)
Kilohaili (anjovis)	1,4 (0,7)	1,4 (0,7)
Kampela	1,4 (0,7)	1,4 (0,7)
Kuha	-	3,3 (1,6)
Lahna	-	1,1 (0,5)
Särki	-	1,1 (0,5)
Kuore	-	-
Yhteensä	209,4 (100)	209,4 (100)

Taulukko 18. Kalojen käyttö kansallisten ravitsemussuositusten mukaiseen kulutukseen perustuvissa skenaarioissa. Arvot grammoina viikossa, prosenttiosuus suluissa. Skenaarioissa tiettyjen lajien käyttömääriä on rajoitettu Ruokaviraston syöntisuositusten mukaisesti ja kokonaismäärä on 2 annosta/viikko. Skenaariossa 2A kulutus jakautuu 1:1 rasvaisen ja vähärasvaisen kalan välille, skenaariossa 2B kulutetaan vain rasvaista kalaa ja skenaariossa 2C vain vähärasvaista kalaa.

Kalalaji	2A (g/vko, %)	2B (g/vko, %)	2C (g/vko, %)
Lohi, kasvatettu	29,2 (14,6)	86,1 (43,3)	-
Lohi, luonnon-	3,9 (1,9)	3,9 (1,9)	-
Kirjolohi, kotimainen	16,9 (8,4)	50,0 (25,0)	-
Kirjolohi, tuonti-	2,5 (1,3)	7,5 (3,7)	-
Tonnikala	16,0 (8,0)	-	45,8 (22,9)
Seiti	11,3 (5,7)	-	32,4 (16,2)
Silakka	46,0 (23,0)	46,0 (23,0)	
Ahven	9,1 (4,5)	-	26,0 (13,0)
Muikku	4,5 (2,2)	-	12,8 (6,4)
Siika	4,3 (2,1)	-	12,2 (6,1)
Hauki	50,0 (25,0)	-	50,0 (25,0)
Turska	2,6 (1,3)	-	7,4 (3,7)
Silli	1,4 (0,7)	4,1 (2,0)	-
Kilohaili (anjovis)	-	1,9 (0,9)	-
Kampela	-	-	2,8 (1,4)
Kuha	2,2 (1,1)	-	6,3 (3,2)
Lahna	-	-	2,2 (1,1)
Särki	-	-	2,2 (1,1)
Kuore	-	-	-
Yhteensä	199,9 (100)	199,9 (100)	200,0 (100)

Taulukko 19. Kalojen käyttö kotimaisen kalan edistämishojelman tavoitteiden mukaiseen kulu-
tukseen perustuvissa skenaarioissa. Arvot grammoina viikossa, prosenttiosuus
suluissa. Skenaariossa 3A lohikalat ovat kotimaisia, skenaariossa 3B lohikalajien
osuus on toteutuneen käytön mukainen ja skenaariossa 3C tuontikalajien ja lohi-
kalajien kulutus on toteutuneen käytön mukaista.

Kalalaji	3A (g/vko, %)	3B (g/vko, %)	3C (g/vko, %)
Lohi, kasvatettu	-	48,0 (19,2)	33,3 (12,2)
Lohi, luonnon-	0,7 (0,3)	0,7 (0,3)	5,0 (1,8)
Kirjolohi, kotimainen	79,9 (32,0)	27,8 (11,1)	57,7 (21,1)
Kirjolohi, tuonti-	-	4,1 (1,7)	0,8 (0,3)
Tonnikala	17,3 (6,9)	17,3 (6,9)	20,7 (7,6)
Seiti	12,2 (4,9)	12,2 (4,9)	14,6 (5,4)
Silakka	49,9 (20,0)	49,9 (20,0)	49,9 (18,3)
Ahven	13,5 (5,4)	13,5 (5,4)	13,5 (4,9)
Muikku	29,0 (11,6)	29,0 (11,6)	29,0 (10,6)
Siika	11,1 (4,4)	11,1 (4,4)	11,1 (4,0)
Hauki	8,1 (3,2)	8,1 (3,2)	8,1 (3,0)
Turska	2,8 (1,1)	2,8 (1,1)	3,4 (1,2)
Silli	2,3 (0,9)	2,3 (0,9)	2,7 (1,0)
Kilohaili (anjovis)	6,2 (2,5)	6,2 (2,5)	6,2 (2,3)
Kampela	1,0 (0,4)	1,0 (0,4)	1,3 (0,5)
Kuha	5,7 (2,3)	5,7 (2,3)	5,7 (2,1)
Lahna	4,9 (2,0)	4,9 (2,0)	4,9 (1,8)
Särki	4,9 (2,0)	4,9 (2,0)	4,9 (1,8)
Kuore	0,5 (0,2)	0,5 (0,2)	0,5 (0,2)
Yhteensä	250,0 (100)	250,0 (100)	273,3 (100)

Taulukko 20. Kalojen käyttö pohjoismaisten ravitsemussuositusten ylärajan mukaiseen kulu-
tukseen perustuvissa skenaarioissa, joissa erityisesti kotimaisen luonnonkalan
käyttö kasvaa nykyisestä. Arvot grammoina viikossa, prosenttiosuus suluissa.
Skenaariossa 4A lohikalat ovat kotimaisia, skenaariossa 4B lohikalojen osuus on
toteutuneen käytön mukainen ja skenaariossa 4C kotimaisen luonnonkalan
käyttö on kotimaisen kalan edistämishjelman tavoitteiden mukaista.

Kalalaji	4A (g/vko, %)	4B (g/vko, %)	4C (g/vko, %)
Lohi, kasvatettu	-	86,5 (19,3)	130,7 (29,0)
Lohi, luonnon-	1,3 (0,3)	1,3 (0,3)	1,9 (0,4)
Kirjolohi, kotimainen	143,9 (31,9)	50,0 (11,1)	75,5 (16,8)
Kirjolohi, tuonti-	-	7,5 (1,7)	11,3 (2,5)
Tonnikala	31,1 (6,9)	31,1 (6,9)	47,0 (10,4)
Seiti	22,0 (4,9)	22,0 (4,9)	33,2 (7,4)
Silakka	89,9 (20,0)	89,9 (20,1)	49,9 (11,1)
Ahven	24,3 (5,4)	24,3 (5,4)	13,5 (3,0)
Muikku	52,2 (5,4)	52,2 (11,7)	29,0 (6,4)
Siika	19,9 (4,4)	19,9 (4,4)	11,1 (2,5)
Hauki	14,6 (3,2)	14,6 (3,3)	8,1 (1,8)
Turska	5,0 (1,1)	5,0 (1,1)	7,6 (1,7)
Silli	4,1 (0,9)	4,1 (0,9)	6,2 (1,4)
Kilohaili (anjovis)	11,1 (2,5)	11,1 (2,5)	6,2 (1,4)
Kampela	1,9 (0,4)	1,9 (0,4)	2,9 (0,6)
Kuha	10,3 (2,3)	10,3 (2,3)	5,7 (1,3)
Lahna	8,8 (2,0)	8,8 (2,0)	4,9 (1,1)
Särki	8,8 (2,0)	8,8 (2,0)	4,9 (1,1)
Kuore	0,9 (0,2)	0,9 (0,2)	0,5 (0,1)
Yhteensä	450,0 (100)	448,1 (100)	450,0 (100)

Liite 4. Altistuksen arviointi ja riski-hyötyanalyysi

Riski-hyötyarvion menetelmien yksityiskohdat

Tautitaakka lasketaan käytettävissä olevista tiedoista riippuen kaavalla 1 tai 2:

$$BoD_i = BoD * PAF_i = BoD * f_i \frac{RR_i - 1}{f_i(RR_i - 1) + 1} \quad (1)$$

$$BoD_i = N_i * L * Dw = P * f_i * UR_i * E_i * L * Dw \quad (2),$$

missä BoD on tutkittavasta terveyshaitasta aiheutuva kokonaistautitaakka, i on terveyshaittaan liittyvä altiste, PAF on väestösyysuus, f on altistuva väestönosuus, RR_i on suhteellinen riski altisteelle i (altistuminen tietyllä annoksella verrattuna tilanteeseen ilman minkäänlaista altistusta i :lle), N_i on altisteelle altistumisesta aiheutuvien tapausten määrä, L on terveyshaitan kesto vuosissa, Dw on terveyshaitan haittapainokerroin ($0 \leq Dw \leq 1$, missä 0 vastaa täydellistä terveyttä ja 1 kuolemaa), P on koko populaation koko, UR absoluuttinen yksikköriski ja E_i altistus altisteelle i .

Kuvaus tutkituista terveysvasteista ja laskennan lähtötiedoista on koottu taulukkoon 20, ja epäorgaanista arseenia lukuun ottamatta malli sekä annosvasteet ovat saatavilla Opasnetissä (http://fi.opasnet.org/fi/PFAS-yhdisteiden_tautitaakka). Tämän hankkeen laskentaa varten Opasnetin malli siirrettiin bayesilaiseksi OpenBUGS-koodiksi, jotta mallia olisi yksinkertaisempaa päivittää hankkeen tuottamilla altistustiedoilla.

Taulukko 21. Riski-hyötyarvion terveystaustat ja laskennan lähtötietojen tyypit. Kokonaistautitaakka on IHME UW:n arvio Suomen tilanteesta v. 2019 ja sisältää kaikki vasteesseen liittyvät tunnetut ja tuntemattomat altisteet.

Vaste	Altiste	Annosvaste ^a	Muut arvioissa käytetyt tietotyypit	Huomattavaa
Älykkyydosamäärän muutos	DHA (+) ja MeHg (-)	ERS	Esiintyvyys, tapauksen taakka	Vain 0–4 v
Hammasmaurio (on/ei)	Dioksiinit	ERS	Esiintyvyys, tapauksen taakka	Vain 0–4 v
Siittömäärän vähenemä / hedelmättömyys	Dioksiinit	ERS	Esiintyvyys, tapauksen taakka	Vain 0–4 v
Kokonaiskuolleisuus syöpään vuosittain	Dioksiinit	CSF	Kokonaistautitaakka, esiintyvyys, tapauksen taakka	Tarkastelu 5 v-ikäryhmin
Kokonaiskuolleisuus	Kalan käyttömäärä	RR	Kokonaistautitaakka (vain YLL-osuus)	Tarkastelu 5 v-ikäryhmin
Masennus	Kalan käyttömäärä	RR	Kokonaistautitaakka	Tarkastelu 5 v-ikäryhmin
Rintasyöpä	Omega-3	RR	Kokonaistautitaakka	Tarkastelu 5 v-ikäryhmin 14 v iästä
Sydänkuolleisuus	Omega-3	RH-RR	Kokonaistautitaakka	Tarkastelu 5 v-ikäryhmin
Immunitetin heikkeneminen	PFAS	ERS	Kokonaistautitaakka, esiintyvyys	Vain 0–9-v, oletus BMDL ₁₀ -ylitys = +10% hengitystieinfektioita
Syöpäsairastavuus (3 syöpää)	iAs	RR	Kokonaistautitaakka, esiintyvyys, tapauksen taakka	Laskettu erikseen
TWI-arvon ylitys	Dioksiinit, PFAS	on/ei	Esiintyvyys, tapauksen taakka	
D-vitamiinisuositus	D-vitamiini	Asteittainen	Esiintyvyys, tapauksen taakka	

a) Annosvastetyyppien lyhenteet: ERS = absoluuttisen riskin muutos; CSF = syöpäkulmakerron, ERS:n funktio; RR = suhteellisen riskin muutos; RH-RR = Relative Hill -tyyppinen suhteellisen riskin muutos; YLL = menetetyt elinvuodet -osuus tautitaakasta

Tilastollinen mallintaminen Ruokaviraston malleissa

Tutkimuksessa hyödynnettiin hankkeen aikana kehitettyä tilastollista Bayes-mallia, jonka avulla voi arvioida haitallisten ja hyödyllisten aineiden pitoisuusjakaumia elintarvikkeissa sekä tutkia erilaisia kulutusskenaarioita. Tutkimusaineistona käytettiin hankkeen aikana analysoitujen kalojen pitoisuusmittauksia ja aiempien tutkimusten pitoisuusaineistoja. Pitoisuuden arviointi tehtiin erikseen eri kalalajeille ja joidenkin lajien osalta myös eri kokoluokille ja vesialueille. Pitoisuuden mallintamisessa käytettiin gamma-jakaumaa, johon toteamisrajan (LOD) alle tai toteamisrajan ja määritysrajan (LOQ) väliin jääneet havainnot sisällytettiin välisensuroituina havaintoina ($0 < x < \text{LOD}$ tai $\text{LOD} < x < \text{LOQ}$), jolloin kaikki havainnot noudattavat samaa todennäköisyysjakaumaa.

Kunkin kalalajin suurin turvallinen päiväannos (STA) mallinnettiin arvioidun vierasaineen keskiarvopitoisuuden ($E(C)$), siedettävän päiväsaannin (TDI) ja kuluttajan ruumiinpainon (W) perusteella:

$$\text{STA}_{i,t}(\text{g/päivä}) = \frac{\text{TDI}_i(\text{yksikköä/kg rp/päivä})}{E(C_i)(\text{yksikköä/g})} \cdot W_t(\text{kg}),$$

jossa i kuvaa vierasainetta ja t painoluokkaa, jotka ovat 15 kg, 40 kg ja 70 kg. Bayes-mallin tuloksena saadaan arvio kunkin kalalajin turvalliselle pitkän aikavälin keskimääräiselle päiväannokselle. Tietyn painoisen henkilön suurimpaan turvalliseen päiväannokseen liittyvä epävarmuus kuvataan todennäköisyysjakauman (posteriori-predikttiivinen jakauma) avulla. Erilaisten kulutusskenaarioiden mukaisen altistuksen ja saannin arvioinnissa kaikkien kalalajien kokonaiskulutus jaettiin eri kalalajeille valitun skenaarion mukaisesti. Pitoisuuden alueellinen vaihtelu kalalajin sisällä huomioitiin painottamalla eri vesialueita niiden kalastusmäärien mukaan. Bayes-mallin laskenta toteutettiin OpenBUGS-ohjelmistolla.

Soveltamisen helpottamiseksi tilastollinen malli toimii myös nettiselaimen aukeavana sovelluksena (BASE), joka on tehty R-ohjelmaan kuuluvan Shiny-paketin avulla ja julkaistaan sivulla www.ruokavirasto.fi/teemat/riskinarviointi/risk-assessment-tools/. Sovellus tuottaa ennusteet siihen syötetyn pitoisuusaineiston (Excel-tiedosto) ja käyttäjän antamien tietojen perusteella. Sovelluksen tarjoamien tulostaulukoiden ja -graafikoiden avulla käyttäjä voi helposti tarkastella ja vertailla pitoisuuksia eri elintarvikkeissa sekä tutkia altistusta ja saantia antamallaan yksilö- tai populaatiotason kulutus-tiedoilla. Sovelluksessa käyttäjä voi myös helposti vaihtaa esimerkiksi TDI-arvoja tai henkilön painoa laskiessaan suurinta turvallista annosta tai muita mallin antamia ennusteita. Vastaavasti käyttäjä voi painottaa eri elintarvikkeita arvioidessaan pitoisuutta tai altistusta useamman eri elintarvikkeen yhdistelmälle. Sovellus mahdollistaa myös

katkaistun pitoisuusjakauman arvioimisen ja käyttämisen, mikäli tietyn rajan ylittävät pitoisuudet halutaan poistaa ennusteista.

Lähteet

Airaksinen R, Jestoi M, Keinänen M, Kiviranta H, Koponen J, Mannio J, Myllylä T, Nieminen J, Raitaniemi J, Rantakokko P, Ruokojärvi P, Venäläinen E-R, Vuorinen PJ (2018). Muutokset kotimaisen luonnonkalan ympäristömyrkkypitoisuuksissa (EU-kalat III). Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 51/2018.

Bernard A, Broeckaert F, De Poorter G, De Cock A, Hermans C, Saegerman C, Houins G (2002). The Belgian PCB/Dioxin Incident: Analysis of the Food Chain Contamination and Health Risk Evaluation. *Environmental Research* 88:1, 1-18.

Blomhoff R, Andersen R, Arnesen EK, Christensen JJ, Eneroth H, Erkkola M, et al. Nordic nutrition recommendations 2023. Copenhagen: Nordic Council of Ministers, 2023.

Damsgaard CT, Lauritzen L, Kjaer TMR, Holm PMI, Fruekilde M-B, Michaelsen KF, Frøkiaer H (2007). Fish oil supplementation modulates immune function in healthy infants. *J Nutr* 137:1031–1036.

DeVito M, Bokkers M, van Duursen MBM, van Ede K, Feeley M, Fernandes Gáspár EA, Haws L, Kennedy S, Peterson RE, Hoogenboom R, Nohara K, Petersen K, Rose M, Safe S, Schrenk D, Wheeler MW, Wikoff DS, Zhao B, van den Berg M (2024). The 2022 world health organization reevaluation of human and mammalian toxic equivalency factors for polychlorinated dioxins, dibenzofurans and biphenyls. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 146:105525. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2023.105525>.

EFSA (2017). Dietary Reference Values for nutrients Summary report. EFSA supporting publication 2017: 14(12):e15121. 98 pp. doi: 10.2903/sp.efsa.2017.e15121

EFSA (European Food Safety Authority), Arcella D, Cascio C, Gómez Ruiz JÁ (2021b). Scientific report on the chronic dietary exposure to inorganic arsenic. *EFSA Journal* 2021;19(1):6380, 50 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6380>

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Knutsen HK, Alexander J, Barregård L, Bignami M, Brüschweiler B, Ceccatelli S, Cottrill B, Dinovi M, Edler L, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Nebbia CS, Oswald IP, Petersen A, Rose M, Roudot A-C, Schwerdtle T, Vleminckx C, Vollmer G, Wallace H, Fürst P, Håkansson H, Halldorsson T, Lundebye A-K, Pohjanvirta R, Ryländer L, Smith A, van Loveren H, Waalkens-Berendsen I, Zeilmaker M, Binaglia M, Gómez Ruiz JÁ, Horváth Z, Christoph E, Ciccolallo L, Ramos Bordajandi L, Steinkellner H, Hoogenboom LR (2018). Scientific Opinion on the risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food. *EFSA Journal* 2018;16(11):5333, 331 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5333>

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom LR, Leblanc J-C, Nebbia CS, Nielsen E, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Vleminckx C, Wallace H, Barregård L, Ceccatelli S, Cravedi J-P, Halldorsson TI, Haug LS, Johansson N, Knutsen HK, Rose M, Roudot A-C, Van Loveren H, Vollmer G, Mackay K, Riolo F, Schwerdtle T (2020). Scientific Opinion on the risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal* 2020;18(9):6223, 391 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Schrenk, D., Bignami, M., Bodin, L., Chipman, J. K., del Mazo, J., Grasl-Kraupp, B., Hogstrand, C., Hoogenboom, L. R., Leblanc, J.-C., Nebbia, C. S., Nielsen, E., Ntzani, E., Petersen, A., Sand, S., Schwerdtle, T., Wallace, H., Benford, D., Fürst, P., ... Vleminckx, C. (2024). Update of the risk assessment of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in food. *EFSA Journal*, 22(1), e8497. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8497>

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom L, Leblanc J-C, Nebbia CS, Nielsen E, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Schwerdtle T, Wallace H, Benford D, Fürst P, Rose M, Ioannidou S, Nikolič M, Bordajandi LR, Vleminckx C (2021). Scientific Opinion on the update of the risk assessment of hexabromocyclododecanes (HBCDDs) in food. *EFSA Journal* 2021;19(3):6421, 130 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6421>

EFSA NDA Panel (EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens), Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., de Henauw, S., Hirsch-Ernst, K.-I., Knutsen, H. K., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H. J., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F., Tsbouri, S., Vinceti, M., Lanham-New, S., Passeri, G., Craciun, I., Fabiani, L., ... Naska, A. (2023). Scientific opinion on the tolerable upper intake level for vitamin D, including the derivation of a conversion factor for calcidiol monohydrate. *EFSA Journal*, 21(8), 1–219 pp. <http://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8145>

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) (2012). Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA Journal* 2012; 10(12):2985. [241 pp.] doi:10.2903/j.efsa.2012.2985

EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA) (2010). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. *EFSA Journal* 2010; 8(3):1461. [107 pp.] doi:10.2903/j.efsa.2010.1461.

European Union (2014). Guidance Document No.32 on Biota Monitoring (The Implementation of EQS_{biota}) Under The Water Framework Directive.

FAO & WHO (2023). Joint FAO/WHO Expert Consultation on Risks and Benefits of Fish Consumption

Hallikainen A, Airaksinen R, Rantakokko P, Koponen J, Mannio J, Vuorinen PJ, Jääskeläinen T, Kiviranta H (2011). Itämeren kalan ja muun kotimaisen kalan ympäristömyrkyt: PCDD/F-, PCB-, PBDE-, PFC- ja OT-yhdisteet. *Eviran tutkimuksia* 2/2011.

Hallikainen A, Kiviranta H, Isosaari P, Vartiainen T, Parmanne R, Vuorinen PJ (2004). Kotimaisen järvi- ja merikalan dioksiinien, furaanien, dioksiinien kaltaisten PCB-yhdisteiden ja polybromattujen difenyyliettereiden pitoisuudet. *EU-KALAT. Elintarvikeviraston julkaisuja* 1/2004.

Hoppu U, Kujala J, Lehtisalo J, Tapanainen H, Pietinen P (toim) (2008). Yläkoululaisten ravitsemus ja hyvinvointi. *Kansanterveyslaitoksen julkaisuja* B30/2008.

IHME (2020). Global Burden of Disease Collaborative Network. Global Burden of Disease Study 2019 (GBD 2019) Results. Seattle, United States: Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME).

Jakobsen, L.S., Fabricius, F.A., Nissen, J. et al. (2020). The Disease Burden of Dietary Exposure to Inorganic Arsenic in Denmark, 2018. *Expo Health* 12: 751–759. <https://doi.org/10.1007/s12403-019-00334-8>

JECFA (2011) Safety evaluation of certain contaminants in food. 72nd meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Food Additives Series 63. Osa Arsenic (addendum), s. 153–316.

Jensen TK, Priskorn L, Holmboe SA, Nassan FL, Andersson A-M, Dalgård C, Petersen JH, Charvarro JE, Jørgensen N (2020). Associations of fish oil supplement use with testicular function in young men. *JAMA Network Open*. 2020;3(1):e1919462. doi:10.1001/jamanetworkopen.2019.19462

Julshamn, K., Nilsen, B. M., Frantzen, S., Valdersnes, S., Maage, A., Nedreaas, K., & Sloth, J. J. (2012). Total and inorganic arsenic in fish samples from Norwegian waters. *Food Additives and Contaminants: Part B*, 5(4), 229-235.

Kaartinen N, Tapanainen H, Reinivuo H, Pakkala H, Sääksjärvi K, Virtanen S, Männistö S, Aalto S, Borodulin K, Korhonen T, Valsta L (2018). Menetelmät. Teoksessa Liisa Valsta, Niina Kaartinen, Heli Tapanainen, Satu Männistö, Katri Sääksjärvi (toim.) Ravitsemus Suomessa – FinRavinto 2017 -tutkimus. THL Raportti 12/2018. Helsinki: Terveystieteiden tutkimuskeskus.

Komission asetus (EU) N:o 589/2014, annettu 2 päivänä kesäkuuta 2014, näytteenotto- ja määrittämenetelmistä tietyissä elintarvikkeissa olevien dioksiinien, dioksiinien kaltaisten PCB-yhdisteiden ja muiden kuin dioksiinien kaltaisten PCB-yhdisteiden pitoisuuksien tarkastusta varten sekä asetuksen (EU) N:o 252/2012 kumoamisesta. *Euroopan unionin virallinen lehti* L 164/18-40.

Komission asetus (EY) N:o 333/2007, annettu 28 päivänä maaliskuuta 2007, näytteenotto- ja määrittämenetelmistä elintarvikkeiden lyijy-, kadmium-, elohopea-, epäorgaanisen tinan, 3-MCPD- ja

- bentso(a)pyreenipitoisuuksien virallista tarkastusta varten. Euroopan unionin virallinen lehti L88/29-38.
- Kyttälä P, Ovaskainen M, Kronberg-Kippilä C, Erkkola M, Tapanainen H, Tuokkola J, Veijola R, Simell O, Knip M, Virtanen SM (2008). Lapsen ruokavalio ennen kouluikää. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B32/2008.
- Maa- ja metsätalousministeriö (2023). Neuvosto päätti Itämeren kalastusmahdollisuuksista vuodelle 2024, silakan kalastus jatkuu normaalisti kohtuullisin kiintiöin. <https://mmm.fi/-/neuvosto-paatti-itameren-kalastusmahdollisuuksista-vuodelle-2024-silakan-ja-lohen-kalastus-jatkuu-suomen-tavoitteiden-mukaisesti>, viitattu 8.7.2024.
- Martin J.W., Whittle M., Muir D.C.G., & Mabury S.A. (2004). Perfluoroalkyl contaminants in a food web from Lake Ontario. *Environ. Sci. Technol.* 38: 5379–5385.
- Mattila, P., Piironen, V., Haapala, R., Hirvi, T., Uusi-Rauva, E., (1997) Possible Factors Responsible for the High Variation in the Cholecalciferol Contents of Fish, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1997 45 (10), 3891-3896 DOI: 10.1021/jf970243j
- Mattila, P., Piironen, V., Hakkarainen, T., Hirvi, T., Uusi-Rauva, E. and Eskelinen, P. (1999a), Possibilities to raise vitamin D content of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by elevated feed cholecalciferol contents. *J. Sci. Food Agric.*, 79: 195-198. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199902\)79:2<195::AID-JSFA166>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199902)79:2<195::AID-JSFA166>3.0.CO;2-C)
- Mattila, P., Piironen, V., Uusi-Rauva, E., Koivistoinen, P. Cholecalciferol and 25-Hydroxycholecalciferol Contents in Fish and Fish Products, *Journal of Food Composition and Analysis*, 1995; 8 (3), 232-243, <https://doi.org/10.1006/jfca.1995.1017>.
- Mattila, P., Ronkainen, R., Lehikoinen, K., Piironen, V. (1999b) Effect of Household Cooking on the Vitamin D content in Fish, Eggs, and Wild Mushrooms, *Journal of Food Composition and Analysis*, 12, 153-160, <https://doi.org/10.1006/jfca.1999.0828>
- Myers M (1981). Planning and engineering data 1. Fresh fish handling. FAO Fisheries Circular No. 735 <https://www.fao.org/3/p3407e/P3407E03.HTM>, viitattu 3.5.2023
- Pastor N, Soler B, Mitmesser SH, Ferguson P, Lifschitz C (2006). Infants Fed Docosahexaenoic Acid- and Arachidonic Acid-Supplemented Formula Have Decreased Incidence of Bronchiolitis/Bronchitis the First Year of Life. *Clin Pediatr.*45:850–855.
- Raitaniemi J, Nyberg K, Torvi I (2000). Kalojen iän ja kasvun määrittäminen. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki.
- Ranta J, Marinova-Todorova M, Mikkilä A, Suomi J, Tuominen P (2023). BIKE foodborne exposure model - A graphical user interface for the Bayesian dietary exposure assessment model for microbiological and chemical hazards (BIKE). Finnish Food Authority, Helsinki, Finland. Available at <https://bike-expo-shiny.rahtiapp.fi/>
- Ranta J, Mikkilä A, Suomi J, Tuominen P (2021). BIKE: Dietary Exposure Model for Foodborne Microbiological and Chemical Hazards. *Foods* 10(11):2520. doi.org/10.3390/foods10112520
- Ruokavirasto (2022). D-vitamiini. www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/terveytta-edistava-ruokavaliio/ravintoaineet/d-vitamiini/ viitattu 25.1.2024.
- Ruokavirasto (2022). Kala. www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/ohjeita-kuluttajille/turvallisen-kayton-ohjeet/kala/ , viitattu 3.5.2023
- Sahslten, J., Lauerma, A. & Karpela, T. (2022). Kuoreen esiintyminen ja merkitys kuhan ravinnossa Saaristomerellä – tutkimustietoa kuoreen kalastuksen kehittämiseksi (loppuraportti). Turun yliopisto, Saaristomeren tutkimuslaitos, Biodiversiteettiyksikkö. 22 s.
- Salmi, J. (1982). Hauen, ahvenen, kuhan ja mateen ravinnosta rannikkovesissämme. Sivulaudatur-tutkielma, Eläintieteen laitos, Morfologian ja ekologian osasto. 97 s.
- Savilahti, E. (2016). Kuhan ravinto Turun saariston alueella. Opinnäytetyö (AMK), Kala- ja ympäristötalouden koulutusohjelma NKALAS11.
- SFC (2001). Opinion of the scientific committee on food on the risk assessment of dioxins and dioxin-like PCBs in food.

- Skaffari E., Korkalo L., Vepsäläinen H., Nissinen K., Roos E., Erkkola M. (2019) Päiväkoti-ikäisten lasten ruokavalio. <https://dagis.fi/julkaisut>.
- Sloth, J. J., Julshamn, K., & Lundebye, A. K. (2005a). Total arsenic and inorganic arsenic content in Norwegian fish feed products. *Aquaculture nutrition*, 11(1), 61-66
- Sloth, J. J., Larsen, E. H., & Julshamn, K. (2005b). Survey of inorganic arsenic in marine animals and marine certified reference materials by anion exchange high-performance liquid chromatography– inductively coupled plasma mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(15), 6011-6018.
- Špilev, H. & Turovski, A. (2003). Smelt, *Osmerus eperlanus* (L.). Teoksessa: *Fishes of Estonia*. Estonian Academy Publishers, ISBN 9985-50-357-0. 416 s.
- Suomen Syöpärekisteri, <https://tilastot.syoparekisteri.fi/syovat>, datan päiväys 04.07.2022, soveluksen versio 2022-10-28-002, ladattu 22.2.2023
- Suomi J, Haario P, Asikainen A, Holma M, Raschen A, Tuomisto J, Joutsen S, Luukkanen J, Huttunen L-M, Pasonen P, Ranta J, Rimhanen-Finne R, Hänninen O, Lindroos M, Tuominen P (2019). Ruokajärjestelmän kansanterveydellisten vaikutusten kustannukset ja riskinarviointi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:63. 140 pp. ISBN 978-952-287-796-3. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-796-3>
- Suomi J, Tuominen P, Ranta J, Savela K (2015). Riskinarviointi suomalaisten lasten altistumisesta elintarvikkeiden ja talousveden raskasmetalleille. *Eviran tutkimuksia* 2/2015. 141 pp. ISBN 978-952-225-145-9
- Suomi J, Valsta L, Suominen K, Tuominen P (2020). Riskinarviointi suomalaisten aikuisten altistumisesta elintarvikkeiden ja talousveden raskasmetalleille sekä alumiinille. *Ruokaviraston tutkimuksia* 1/2020. 78 pp. ISBN 978-952-358-012-1. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3772612>
- SVT: Luonnonvarakeskus, Kaupallinen kalastus merellä (vuosi 2021); Kaupallinen kalastus sisävesillä (vuosi 2021); Vapaa-ajankalastus (vuodet 2020 ja 2018); Kokonaiskalantuotanto (vuosi 2019); julkaisematon data; www.luke.fi/fi/tilastot/
- Thienprasert A, Samuhaseneetoo S, Popplestone K, West AL, Miles EA, Calder PC (2009). Fish Oil N-3 Polyunsaturated Fatty Acids Selectively Affect Plasma Cytokines and Decrease Illness in Thai Schoolchildren: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Intervention Trial. *J Pediatr*. 154:391–395.
- THL (2019). Fineli. Koostumustietokannan versio 20. <https://fineli.fi/fineli/fi/index>, viitattu 3.5.2023 ja 26.4.2024.
- THL (2021). PFAS-yhdisteiden tautitaakka. Tietokide. http://fi.opasnet.org/fi/PFAS-yhdisteiden_tautitaakka. viitattu 21.10.2021
- Tuomisto JT, Niittynen M, Turunen A, Ung-Lanki S, Kiviranta H, Harjunpää H, Vuorinen PJ, Rokka M, Ritvanen T, Hallikainen A. Itämeren silakka ravintona – Hyöty-haitta-analyysi. *Eviran tutkimuksia* 1/2015
- Tuomisto, J.T., Asikainen, A., Meriläinen, P. et al. Health effects of nutrients and environmental pollutants in Baltic herring and salmon: a quantitative benefit-risk assessment. *BMC Public Health* 20, 64 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12889-019-8094-1>
- Uusitalo, L., Nevalainen, J., Salminen, I., Ovaskainen, M.-L., Kronberg-Kippilä, C., Ahonen, S., Niinistö, S., Alftan, G., Simell, O., Ilonen, J., Veijola, R., Knip, M. and Virtanen, S.M. (2013), Fatty acids in serum and diet – a canonical correlation analysis among toddlers. *Maternal & Child Nutrition*, 9: 381-395. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8709.2011.00374.x>
- Valtioneuvosto (2021). Lisää kotimaista kalaa! Kotimaisen kalan edistämishjelma. Valtioneuvoston periaatepäätös 8.7.2021. <https://mmm.fi/documents/1410837/1801447/Kotimaisen+kalan+edist%C3%A4misohjelma+valtioneuvoston+periaatep%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s+8.7.2021.pdf/f8e4ed1a-c9c1-5f7e-7e6e-b7c2db47d058/Kotimaisen+kalan+edist%C3%A4misohjelma+valtioneuvoston+periaatep%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s+8.7.2021.pdf?t=1656936411831>, viitattu 3.5.2023

Venäläinen E-R, Hallikainen A, Parmanne R, Vuorinen P (2004). Kotimaisen järvi- ja merikalan raskasmetallipitoisuudet, EU-kalat. Elintarvikeviraston julkaisuja 3/2004.

VKM, Lene Frost Andersen, Paula Berstad, Barbara Bukhvalova, Monica Carlsen, Lisbeth Dahl, Anders Goksøyr, Lea Sletting Jakobsen, Helle Katrine Knutsen, Ingrid Kvestad, Inger Therese Lillegaard, Bente Mangschou, Haakon Meyer, Christine Louise Parr, Kirsten Eline Rakkestad, Josef Rasinger, Sayantan Sengupta, Guri Skeie, Jos-tein Starrfelt, Stine Marie Ulven, Angelika Agdestein, Johanna Bodin, Ellen Bruzell, Edel Elvevoll, Dag Olav Hessen, Trine Husøy, Åshild Krogdahl, Asbjørn Magne Nilsen, Taran Skjerdal, Inger-Lise Steffensen, Tor Arne Strand, Gaute Velle, Yngvild Waste-son, Jan Alexander (2022). Benefit and risk assessment of fish in the Norwegian diet. Scientific Opinion of the Scientific Steering Committee of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment. VKM Report 2022:17, ISBN: 978-82-8259-392-2, ISSN: 2535-4019. Norwegian Scientific Committee for Food and Environment (VKM), Oslo, Norway.

Väisänen M., Koreasalo, M., Salo T., Takkinen H.-M., Niinistö S., Raulio S., Virtanen S. (2023). Nuorten ravitsemusseurannan esitutkimus. THL Työpöytä 33/2023. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-408-156-6>

Wolle, M. M., Stadig, S., & Conklin, S. D. (2019). Market basket survey of arsenic species in the top ten most consumed seafoods in the United States. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67(29), 8253-8267.

WWF (2023). WWF:n kalaopas. <https://wwf.fi/ruoka/kalaopas/>, viitattu 8.7.2024.

Yrjölä, S., Lehtonen, H., & Nyberg, K. (2015). Suomen kalat. Nemo, Helsinki. 272 s.

Zafeiraki E, Gebbink WA, Hoogenboom RLAP, Kotterman M, Kwadijk C, Dassenakis E, van Leeuwen SPJ (2019). Occurrence of perfluoroalkyl substances (PFASs) in a large number of wild and farmed aquatic animals collected in the Netherlands. *Chemosphere* 232:415-423. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.200>

tietokayttoon.fi

ISBN PDF 978-952-383-312-8
ISSN PDF 2342-6799