



Kalojen vierasaineiden ja vesiympäristön tilan seurannat kustannustehokkaammiksi tutkijoiden ja kalastuselinkeinon yhteistyöllä (KALAKAS)

Loppuraportti

Panu Rantakokko (THL), Heikki Peltonen (SYKE), Ari Leskelä (Luke), Roger Hakalax (Ab Salmonfarm Oy), Timo Myllylä (Luke), Knut-Olof Lerche (Raisioaqua Oy), Hannu Kiviranta (THL).

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL), Suomen ympäristökeskus (SYKE), Luonnonvarakeskus (Luke), Ab Salmonfarm Oy

HANKE: Kalojen vierasaineiden ja vesiympäristön tilan seurannat kustannustehokkaammiksi tutkijoiden ja kalastuselinkeinon yhteistyöllä (KALAKAS)

ELY-KESKUS HANKENUMERO: 33300

HANKKEEN KESTO: 1.3.2017-31.5.2019

RAHOITTAJA: Varsinais-Suomen ELY-keskus

Euroopan meri- ja kalatalousrahaston Suomen toimintaohjelma, Kalatalouden innovaatio-ohjelmat, 1. Kalastuksen innovaatio-ohjelma, Tutkimuksen ja kalastajien välisen kumppanuuden kehittäminen sekä kalastuksen jatkuvuuden turvaaminen

HANKKEEN TEKIJÄT: Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL), Suomen ympäristökeskus (SYKE), Luonnonvarakeskus (Luke), Ab Salmonfarm Oy

YHTEYSHENKILÖ: Erikoistutkija Panu Rantakokko

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

Neulaniementie 4, 70210 Kuopio

Puh: 029 524 6395

Sähköposti: panu.rantakokko@thl.fi



TIIVISTELMÄ

Selkämeren vahvaa silakkakantaa ei pystytä hyödyntämään täysimääräisesti vientiin menevinä tuotteina osittain siksi, että yli 17 cm silakoiden katsotaan ylittävän EU:n sisämarkkinoille asetetut suurimmat sallitut pitoisuudet dioksiini- ja PCB-yhdisteille. Tämä on merkittävä rajoitus, sillä vuonna 2017 Selkämeren saaliissa vähintään 17-senttisiä silakoita oli lukumääräisesti 32 % ja massaosuus oli vielä tätäkin suurempi. Yksi ratkaisu silakan jalostusarvon nostamiseen on ollut Kemiönsaaren Kasnäsissä vuonna 2016 toimintansa aloittanut kalajauhotehdas, joka käyttää noin 20-30 % Suomen vuotuisesta silakkasaaliista. Tehtaalla on käytössä dioksiinien puhdistusprosessi, minkä avulla lopputuotteiden pitoisuudet alittavat EU:n raja-arvot. Raakakalan dioksiini- ja PCB-pitoisuudet vaikuttavat kuitenkin merkittävästi tehtaan puhdistusprosessin säätötarpeeseen.

Euroopan meri- ja kalatalousrahaston Suomen toimintaohjelman *Tutkijoiden ja kalastajien välinen kumppanuus* -osion vaikuttavuustavoitteita ovat uusien, yksityisen ja julkisen sektorin kumppanuuteen perustuvien toimintamallien ja tiedonkeruuteknologioiden kehittäminen ja käyttöönotto erityisesti kalastukseen, kalakantoihin ja vesiympäristön tilaan liittyvän tiedon keruussa ja sen laadun ja kustannustehokkuuden parantamisessa. Huomioiden tehtaalle tulevan kalamassan alueellinen kattavuus ja määrä, tehtaan katsottiin tarjoavan uuden mahdollisuuden rakentaa edellä mainittuihin vaikuttavuustavoitteisiin liittyviä kumppanuusverkostoja tehtaan, sitä palvelevien kalastajien ja tutkijoiden välille. Hankkeen päätavoitteena oli selvittää tehtaalle tulevan kalamassan soveltuvuus eri alueiden ja eri kokoluokkia edustavien silakoiden dioksiini- ja PCB-yhdisteiden pitoisuuksien seurantaan, kehittää kustannustehokas pika-menetelmä pitoisuuksien mittauksiin, arvioida elintarvike- ja ympäristön tilan seurannan tarpeiden yhteneväisyyksiä sekä selvittää kalastuksen merkitystä haitta-aineiden poistumalle. Lisäksi hankkeessa luotiin malli dioksiini- ja PCB-yhdisteiden pitoisuuksien pienentymiselle vuosina 2002-2019 tehtyjen mittausten pohjalta.

Hankkeessa luotiin uusia yhteyksiä THL:n, Luken ja SYKE tutkijoiden sekä Kasnäsin tehtaan johdon välille. Yhteydet lainsäädäntöprosessien tieteellisessä taustatyössä olevien tutkijoiden ja tehtaan välillä auttavat tehdasta ja kaupallista kalastusta varautumaan ennakoivasti EU:n lainsäädännön tuleviin muutoksiin. MMM:n EU:n ruoka- ja rehulainsäädäntöjen vastuuhenkilöitä on pidetty tietoisena projektin etenemisestä koko hankkeen ajan.

Tässä hankkeessa osoitetaan, että sekä perinteinen saaliiden purkusatamissa tehty näytteenotto että näytteenotto tehtaalla antavat yhdenmukaisia tuloksia. Kalamassan esilajittelu saaliiden purkusatamissa, kalojen rikkoontuminen siirroissa ja kuljetuksessa sekä kalojen saapumisaikataulujen epäsäännöllisyys vaikeuttavat kuitenkin tehtaalla suoritettavaa näytteenottoa. Hankkeessa havaittiin myös, että yksittäisistä kokoomanäytteistä tehdyissä mittauksissa voi olla suurta kalakannan sisäiseen pitoisuusvaihteluun liittyvää hajontaa. Dioksiini- ja PCB-yhdisteillä on samat raja-arvot EU:n elintarvike- ja ympäristölainsäädännössä ja silakkaa käytetään avomeren tilan indikaattorilajina. Tässä ja aikaisemmissa hankkeissa kertyneen datan pohjalta pystyttiin antamaan suuntaviivat kustannustehokkaalle seurannalle, mikä täyttää kummankin sektorin tietotarpeet. Selkämerellä dioksiinipitoisuuksien on arvioitu olevan vielä pitkään korkeampia kuin muilla Itämeren alueilla, mikä yhdessä Selkämeren kaupallisen kalastuksen merkittävyyden takia asettaa sen tärkeäksi pitoisuusseurannan painopistealueeksi. Kertyneen datan pohjalta kuitenkin osoitettiin, että tällä hetkellä Selkämeren silakka <19 cm alittaa EU:n raja-arvot. Hankkeessa kehitetyn mallin avulla voidaan ennustaa pitoisuuksien laskua silakan eri kokoluokissa tulevina vuosina. Näitä tuloksia voidaan hyödyntää mm. suunniteltaessa silakkasaaliin tulevaisuuden käyttömahdollisuuksia ja neuvotteluissa EU komission kanssa koskien silakan vientimahdollisuuksien laajentamista.



SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
1. JOHDANTO.....	6
1.1. Dioksiini- ja PCB-yhdisteet, ja niiden terveysriskit	6
1.2. Dioksiini- ja PCB-yhdisteet Itämeren kalassa ja kalan elintarvikekäyttö.....	7
1.3. Ympäristöseurannan velvoitteet	7
1.4. Kalastuksen innovaatio-ohjelma.....	8
1.5. Kalastuksen merkitys dioksiinien ja PCB-yhdisteiden poistumiseen Itämerestä	8
1.6. Dioksiini- ja PCB –analytiikassa käytettävät määrittämenetelmät	8
1.7. Kasnäsin kalajauhotehdas ja sen mahdollisuudet tutkijoiden ja kalastuselinkeinon välisen yhteistyön solmukohtana.....	9
1.8. KALAKAS-hankkeen tavoitteet.....	9
2. HANKKEEN TOIMET	10
2.1. Yhteistyötahot, ohjausryhmä ja keskeiset sidosryhmät	10
2.2. Hankkeen resurssit, rahoitus ja aikataulu	10
2.3. Näytteenottosuunnitelma	11
2.4. Eri näytteenottotapojen kustannusten vertailu	11
2.5. Dioksiini- ja PCB-yhdisteiden määritykset	11
2.6. EU-kalat III ja KALAKAS-hankkeen tulosten vertailu	11
2.7. POP-pikamenetelmän kehitys.....	11
2.8. Standardimenetelmän ja pikamenetelmän tulosten vertailu	11
2.9. Ind-PCB-yhdisteiden ja TEQ-pitoisuuksien suhdeanalyysi	12
2.10. Elintarvikevalvonnan ja ympäristön tilan seurannan yhdistäminen ja kustannustehokkuus	12
2.11. Kalastuksen ja Kasnäsin kalajauhotehtaan merkitys POP-yhdisteiden poistumaan Selkämerellä	12
2.12. Dioksiini- ja PCB-yhdisteiden pitoisuuksien lasku Selkämerellä ja EU:n dioksiinipolitiikka	12
2.13. Kasnäsin tehdas tutkijoiden ja kalastajien välisen kumppanuuden solmukohtana	13
2.14. Hankkeen tuloksista tiedottaminen	13
3. TULOKSET.....	13



3.1. Näytteenotto.....	13
3.1.1. Toteutunut näytteenotto Kasnäsin tehtaalla.....	13
3.1.2. Tehtaan kokemukset näytteenotosta.....	14
3.2. Eri näytteenottotapojen vertailu.....	14
3.3. EU kalat III ja KALAKAS tulosten vertailu.....	15
3.4. POP-pikamenetelmän kehitys ja tulosten vertailu standardimenetelmän kanssa.....	18
3.4.1. Pikamenetelmän rajoitukset ja kehitystyö validoinnin aikana.....	18
3.4.2. Kostean ja kuivan näytteen uutto.....	18
3.4.3. Standardimenetelmän ja pikamenetelmän vertailu PCB- ja PBDE-yhdisteille.....	18
3.4.4. OCP-, NBFR- ja CP-yhdisteiden määrittäminen pikamenetelmällä.....	19
3.4.5. PCB-yhdisteiden ja TEQ-pitoisuuksien suhdanalyysi.....	19
3.5. Elintarvikevalvonnan ja ympäristön tilan kustannustehokas seuranta.....	21
3.6. Selkämeren kalastuksen ja Kasnäsin kalajauhotehtaan merkitys PCDD/F ja PCB -yhdisteiden poistajana...23	
3.7. Dioksiini- ja PCB-yhdisteiden pitoisuuksien lasku Selkämerellä ja EU:n dioksiinipolitiikka.....	25
3.8. Kasnäsin tehdas tutkijoiden ja kalastajien välisen kumppanuuden solmukohtana.....	26
3.9. Hankkeen tuloksista tiedottaminen.....	27
3.10. Hankkeen taloudellinen toteuma.....	28
4. TULOSTEN VAIKUTTAVUUS.....	30
4.1. Tulosten merkitys ja hyödynnettävyys.....	30
4.2. Tulosten luotettavuus ja mahdolliset virhelähteet.....	30
4.3. Tulokset suhteessa alkuperäisiin tavoitteisiin.....	30
4.4. Tulosten jalkauttaminen ja suositukset jatkotoimista.....	31
LIITTEET.....	32
LYHENTEET.....	32
KIRJALLISUUSVIITTEET.....	32

1. JOHDANTO

1.1. Dioksiini- ja PCB-yhdisteet, ja niiden terveysriskit

Dioksiinit on yhteisnimitys polyklooratuille dibentso-*p*-dioksiineille ja dibentsofuraaneille. Dioksiinien ja PCB-yhdisteiden (polyklooratut bifenyylit) haitalliset vaikutukset ovat samankaltaisia, mutta niiden vaikutuksen voimakkuus vaihtelee. Dioksiineja on yhteensä 210 kongeneeria, joista 17 on erityisen myrkyllisiä. PCB-yhdisteitä on yhteensä 209, ja niistä 12 on ominaisuuksiltaan samankaltaisia kuin myrkylliset dioksiinit (ns. dioksiinin kaltaiset PCB-yhdisteet, DL-PCBs). Dioksiinikongeneeri 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetraklooridibentso-*p*-dioksiini) on yhdisteistä myrkyllisin, ja muille dioksiineille sekä DL-PCB-yhdisteille on annettu vertailukerros eli TEF-kerros (Toxic Equivalency Factor) [1], jolla yhdisteen mitattu pitoisuus kerrotaan ennen kaikkien näin laskettujen pitoisuuksien yhteenlaskua. Yhteenlaskettua pitoisuutta kutsutaan toksiseksi ekvivalenttitarvoksi (TEQ, Toxic Equivalency). Komission asetus 1259/2011 määrittelee raja-arvot elintarvikkeissa dioksiinien TEQ-pitoisuudelle (jatkossa dioksiini-TEQ) sekä dioksiinien ja PCB-yhdisteiden yhteenlasketulle TEQ-pitoisuudelle (jatkossa Summa-TEQ) sekä ns. indikaattori-PCB-yhdisteiden summapitoisuudelle (jatkossa Ind-PCB:t) [2].

Dioksiineja ei ole koskaan valmistettu tarkoituksella, vaan niitä syntyy epäpuhtautena kloorausprosesseissa ja epätäydellisen palamisen yhteydessä. Dioksiinien päästöille ilmaan on asetettu raja-arvoja, minkä ansiosta niiden kokonaispäästöt ovat vähentyneet huomattavasti. Nykyisin merkittävimmät dioksiinien lähteet ovat energiantuotanto, metalliteollisuus ja hajalähteet, kuten kotitalouksien puun pienpoltto. PCB-yhdisteitä on viime vuosisadalla käytetty runsaasti lämmönsiirtonesteinä ja eristeinä muuntajissa, kondensaattoreissa ja hydraulisissa laitteissa, sekä erilaisissa saumaustaasteissa, maaleissa ja liimoissa. PCB-yhdisteet kiellettiin Suomessa jo 1970-luvulla. Suomessa dioksiinien ja PCB-yhdisteiden merkittävin saantilähde ihmiselle on kala, erityisesti Itämeren rasvaiset kalat, kuten silakka ja lohi. Kala kattaa jopa 80 % suomalaisten kokonaissaannista [3].

Tunnetuin dioksiinien haittavaikutus ihmiselle on hankala ja pitkäkestoinen klooriakne, jota tavataan vain erittäin suurille pitoisuuksille altistumisen seurauksena. Dioksiinien ja PCB-yhdisteiden on todettu lisäävän ihmisen syöpärisiä ainoastaan suuren, lähinnä työperäisen, altistumisen seurauksena. Dioksiineille altistuminen saattaa pitkällä aikavälillä lisätä riskiä kehityshäiriöille sekä häiritä immuunipuolustusjärjestelmää, hormonitoimintaa ja lisääntymiskykyä. Muiden kuin dioksiininkaltaisten PCB-yhdisteiden haitalliset vaikutukset ovat kiistanalaisia. Epidemiologisten ja kokeellisten tutkimusten perusteella niiden suurille pitoisuuksille altistumisen yhteydessä mahdollisia vaikutuksia ovat henkisen suorituskyvyn ja kuulon huononeminen sikiökauden altistumisen seurauksena, syöpävaara ja vastustuskyvyn heikkeneminen [4]. Euroopan elintarvikealan tiedekomitean SCF:n (Scientific Committee on Food) vuonna 2001 julkaiseman riskinarvion mukaan ihminen voi altistua dioksiini- ja PCB-yhdisteille 14 pg TEQ/viikko painokiloa kohti koko elämänsä ajan ilman merkittäviä terveysriskejä [5].

Euroopan elintarviketurvallisuusviranomainen (EFSA) julkaisi marraskuussa 2018 uuden dioksiineihin liittyvän riskinarvioinnin: *“Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food”*. Riskinarvioinnissa tarkasteltiin koe-eläimistä ja epidemiologisista tutkimuksista saatuja tietoja ja päätettiin perustaa riskinarviointi epidemiologiisiin tutkimuksiin ja käyttää eläinkokeiden tuloksia tukemaan epidemiologisten tutkimusten tuloksia. Riskinarvioinnissa kriittinen vaikutus oli sikiöaikaisen ja lapsuuden altistuksen vaikutus siittiöiden lukumäärään 18-20 vuoden iässä. Taustalla oli venäläisillä lapsilla suoritettu tutkimus, missä 9-vuotiaiden poikien seerumin dioksiini-TEQ pitoisuus 7.0 pg TEQ/g rasvaa oli alin pitoisuus, mikä ei enää laskenut siittiöiden lukumäärää. Käyttämällä toksikokineettistä

mallinnusta ja ottaen huomioon imetyksen ja lasten kaksi kertaa aikuisia suuremman saannin, arvioitiin että päivittäinen altistus nuorilla ja aikuisilla tulisi olla alle 0,25 pg TEQ/kg rp/vrk. Tämän päivittäisen altistuksen perusteella EFSA arvioi suurimmaksi siedettäväksi viikkosaanniksi (TWI) 2 pg Summa-TEQ/kg rp/viikko [6]. Tämä on huomattava pudotus vuoden 2001 riskinarviointiin verrattuna ja se saattaa tulevaisuudessa aiheuttaa muutoksia myös EU:n elintarvikelainsäädännön suurimmissa sallituissa pitoisuuksissa.

1.2. Dioksiini- ja PCB-yhdisteet Itämeren kalassa ja kalan elintarvikekäyttö

Selkämeren vahvaan silakkakantaan perustuvaa asemaamme Itämeren suurimpana kalastusvaltiona ei hyödynnetä täysimääräisesti vientiin menevinä tuotteina. Yksi keskeinen este Selkämeren silakan viennin ja silakasta tuotettavien lisäarvotuotteiden kehittämiseksi ovat niiden sisältämät dioksiini- ja PCB-yhdisteet, joiden liian suuret pitoisuudet suhteessa EU:n voimassa olevien asetusten 1881/2006 ja 1259/2011 raja-arvoihin [2, 7] tekevät Itämeren suurikokoisesta silakasta (>17 cm) EU:n sisäisille elintarvike- ja rehumarkkinoille kelpaamatonta. Tämä on merkittävä rajoitus, sillä vuonna 2017 Selkämeren saaliissa vähintään 17-senttisiä silakoita oli lukumääräisesti 32 % ja vähintään 19-senttisiä 9 %. Vastaavat massaosuudet saaliista ovat vielä tätäkin suurempia (Jari Raitaniemi, Luke, sähköposti 6.11.2018).

LUKE:n, SYKE:n, Ruokaviraston ja THL:n aikaisempien EU-kalat I (2002) ja II (2009) hankkeiden ja ammattikalastajilla tehtyjen epidemiologisten tutkimusten ansiosta Suomella on pysyvä poikkeuslupa sallia markkinoillaan tiettyjä kalalajeja, vaikka ne voivat ylittää EU-lainsäädännön raja-arvot [2]. Vuonna 2016 julkaistussa komission suosituksessa 2016/688 [8] todetaan, että luettelo dioksiinien ja PCB-yhdisteiden raja-arvot mahdollisesti ylittävistä kalalajeista on laadittu käytettävissä olevien tietojen perusteella ja se on saatettava säännöllisesti ajan tasalle. Suosituksessa on annettu myös näytteiden vähimmäismäärä eri kalalajeille, mitkä tulisi ottaa vuonna 2016 Suomen eri merialueilta. Näytemäärät ovat silakalle 20 kpl ja kilohailille 5 kpl [8]. Elintarvikekäyttöön tarkoitettujen kalan näytteenoton yksityiskohdista säädetään muissa asetuksissa [9, 10].

Komission suositusta vastaamaan aloitettiin keväällä 2016 EU-kalat III hanke, jonka keskeisenä tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon dioksiinien ja PCB-yhdisteiden pitoisuudet ovat laskeneet vuodesta 2009 vuoteen 2016 eri kalalajeissa ja voisiko laskeneilla pitoisuuksilla olla merkitystä EU:n vientimarkkinoilla. EU-kalat III hankkeen tulokset osoittivat, että sekä dioksiini-TEQ että Summa-TEQ olivat pienentyneet kaikilla kalalajeilla kaikilla Suomen merialueilla. Erityisen johdonmukaista pitoisuuksien pieneneminen oli Selkämeren silakassa. Hankkeen tulosten perusteella vientikelpoisen, elintarvikkeeksi tarkoitetun silakan maksimikokoa saattaa nykyisten raja-arvojen puitteissa olla mahdollista kasvattaa lähitulevaisuudessa 19 cm:iin asti. Hankkeen johtopäätöksissä kuitenkin todettiin, että kriittisiltä merialueilta ja silakan kokoluokista olisi tärkeää saada lisää tietoa pitoisuuksien hajonnasta niiden laskun varmistamiseksi [11].

1.3. Ympäristöseurannan velvoitteet

Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (1299/2004) [12] ja siihen liittyvät asetukset, erityisesti valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (1022/2006) [13], sisältävät rajoituksia sekä raskasmetallien että orgaanisten ympäristömyrkyjen päästöille, ohjeet aineiden tarkkailulle ja laatu normit eri aineiden pitoisuuksille ympäristössä. Asetuksen 1022/2006 ja sen muutosten (VN asetukset 1308/2015 [14] ja 1090/2016 [15]) mukaan vain osaa Vesipuitelidirektiivin 2000/60/EY [16] kaikkiaan 45 prioriteettiaineesta/aineryhmästä seurataan kaloista. Suomessa indikaattorikalat ovat sisä- ja rannikkovesissä ahven ja avomerellä silakka. Kaloista seurattaviin aineryhmiin kuuluvat dioksiinit ja PCB-yhdisteet, PBDE-yhdisteet, PFAS-yhdisteet, elohopea sekä eräitä muita orgaanisia yhdisteitä. Ihmisravinnoksi käytettävien kalojen ympäristömyrkyypitoisuuksien ympäristölaatu normit perustuvat em. elintarvikkeiden vierasainesten



pitoisuuksia käsittelevään asetukseen 1259/2011 [2] niiltä osin kuin kutakin ympäristömyrkyjä säädellään ko. asetuksessa. Koska tässä hankkeessa painottuvat silakan dioksiini- ja PCB-yhdisteet avomerialueella, ovat elintarvike- ja ympäristölainsäädännön raja-arvot yhteneväiset.

Seurantaohjelman rakentaminen merenhoitosuunnitelmassa poikkeaa elintarvikevalvonnasta. Merenhoidon päämääränä on saavuttaa meriympäristön hyvä tila laatimalla merenhoitosuunnitelma ja toteuttamalla siinä esitettyjä toimenpiteitä. Merenhoitosuunnitelma tarkistetaan kuuden vuoden sykleissä, joissa ensin määritellään hyvä tila, arvioidaan meriympäristön tila ja asetetaan ympäristötavoitteet, sen jälkeen tehdään seurantaohjelma arvioon tarvittavista muuttujista ja kolmanneksi päätetään toimenpiteistä, joilla hyvä tila voidaan saavuttaa. Uusi kierros alkaa uudella arviolla meren tilasta [17]. SYKE:n raportissa ”Haitalliset aineet Suomen vesissä” dioksiini- ja PCB-yhdisteitä esitetään aikavälillä 2018-2022 vuosittaiseen seurantaan avomerellä [18].

1.4. Kalastuksen innovaatio-ohjelma

Euroopan Meri- ja Kalatalousrahaston (EMKR) asetuksen 28 artiklan [19] alainen, Luken koordinoima Kalastuksen innovaatio-ohjelma liittyy rahoituksellisesti ja/tai toiminnallisesti hyvin kiinteästi tähän hankkeeseen ja EU-kalat III hankkeeseen. Innovaatio-ohjelma jakautuu seuraaviin neljään työpakettiin:

1) Tutkimuksen ja kalastajien väliset verkostot, 2) Kalojen vierasaineiden ja vesiympäristön tilan seurantojen kehittäminen, 3) Hylkeiden ja merimetson kalastukselle aiheuttamien vahinkojen ehkäiseminen ja 4) Kalastuksen valikoivuus

Työpakettin 2 THL:n hankenimi on TUKALA. Siinä toimenpiteiksi valikoituivat projektin ohjausryhmän kokouksessa alkuvuonna 2018 seuraavat 3 asiaa:

1. Kotimaisen kalan hajallaan olevat ja vaikeasti hyödynnettävät tiedot eri kontaminanttien pitoisuuksista kootaan helpokäyttöiseen ja avoimeen tietokantaan.
2. Varmistetaan, että <19,0 cm pitkässä silakassa dioksiini- ja PCB-pitoisuudet ovat laskeneet EU raja-arvojen alle silakan vientimahdollisuuksien edistämiseksi.
3. EU komission halogenoitujen POP:n vertailulaboratoriolle [20] korkean prioriteetin yhdisteryhmiksi määrittelemien bromattujen palonestoaineiden (BFRs) ja klooriparaffiinien (CPs) ensivaiheen kartoitus eri merialueiden kaupallisesti tärkeimmistä kaloista käyttäen EU-kalat III hankkeen näytteitä.

TUKALA-hankkeen työpakettin 2 toimintasuunnitelma on tämän raportin liitteenä (Liite 1).

1.5. Kalastuksen merkitys dioksiinien ja PCB-yhdisteiden poistumiseen Itämerestä

Dioksiinien muodostumisen rajoitukset ja PCB-yhdisteiden käyttökiellot ovat tehokkaasti pienentäneet näiden aineiden kulkeutumista Itämereen ja sen eliöstön. Mereen jo kulkeutuneet dioksiinit ja PCB:t kuitenkin kiertävät pitkään ekosysteemissä. Näihin aineryhmiin kuuluvien yhdisteiden hajoaminen on hyvin hidasta. Kalastus on käytännössä ainoa keino, jolla meriekosysteemistä voidaan aktiivisesti poistaa haitallisia ravintoketjuissa rikastuvia kemikaaleja. Siksi on tärkeää saada kvantitatiivinen arvio siitä, mikä on kalastuksen merkitys näiden aineiden poistajana.

1.6. Dioksiini- ja PCB –analytiikassa käytettävät määrittämenetelmät

Elintarvikkeiden dioksiini- ja PCB-yhdisteiden pitoisuusmittaukset on tehty näytteen esikäsittelyn kemian ja analyttisen instrumentaation osalta varsin samalla tavalla jo 25 - 30 vuoden ajan. Suurimmat muutokset ovat

liittyneet eri vaiheiden automaatioon ja viime vuosina EU:n lainsäädännössä myös ns. kolmoiskvadrupoli-tekniikan (MS/MS) käyttöön sen vahvistamiseksi, noudattaako näyte EU:n enimmäismäärää koskevia vaatimuksia [10, 21]. Näytteenottoon liittyvät lainsäädännölliset vaatimukset sekä dioksiinien pienet pitoisuudet edellyttävät, että analyysiin otetaan verraten suuri näytemassa, mikä lisää analyysin työmäärää. Toinen työmäärää lisäävä yksityiskohta analytiikassa on teknisesti välttämätön ja myös EU:n lainsäädäntöön kirjattu vaatimus erotella dioksiinit niitä jopa neljä kertaluokkaa suurempina pitoisuuksina esiintyvistä Ind-PCB-yhdisteistä [10, 21]. Näistä syistä analytiikka on varsin kallista ja työlästä. Toisaalta hyvinkin erilaisilla pitoisuuksilla esiintyvien dioksiini- ja PCB-yhdisteiden pitoisuudet kalanäytteissä korreloivat varsin hyvin. Tästä syystä mittaamalla yksinkertaistetulla menetelmällä vain esim. valikoituja dioksiini- ja PCB-yhdisteitä, voi olla mahdollista ennustaa ylittävätkö näytteen dioksiini- ja Summa-TEQ EU:n raja-arvot. Lisäksi samalla menetelmällä saattaa olla mahdollista määrittää myös BFR- ja CP-yhdisteitä, joita on tarkoitus määrittää TUKALA-hankkeen yhteydessä.

1.7. Kasnäsin kalajauhotehdas ja sen mahdollisuudet tutkijoiden ja kalastuselinkeinojen välisen yhteistyön solmukohtana

Yksi suuren mittakaavan ratkaisu silakan jalostusarvon nostamiseen on ollut Kemiönsaaren Kasnäsin vuonna 2016 toimintansa aloittanut kalajauhotehdas. Tehtaan tavoite on käyttää 30 - 40 miljoonaa kiloa Itämeren kalaa vuodessa (lähinnä silakkaa ja kilohailia), mikä vuoden 2014 saaliiseen (142 Mkg) suhteutettuna tarkoittaa noin 20-30 % Suomen vuotuisesta silakka- ja kilohailisaaliista. Dioksiini- ja PCB-yhdisteet asettavat kuitenkin tehtaan toiminnalle haasteen. Tutkimukset ympäristömyrkkujen siirtymisestä rehuista elintarvikkeisiin ovat osoittaneet, että jo varsin matalat dioksiinien ja PCB-yhdisteiden pitoisuudet rehuissa voivat nostaa eläinperäisten elintarvikkeiden pitoisuudet elintarvikkeille asetettuja enimmäispitoisuuksia suuremmiksi. Tästä syystä kalasta valmistettujen rehujen dioksiinien ja PCB-yhdisteiden suurimmat sallitut pitoisuudet ovat matalampia kuin elintarvikkeiden raaka-aineena käytettävän kalan suurimmat sallitut pitoisuudet [2, 22]. Matalien raja-arvojen vuoksi tehtaalla on dioksiinien puhdistusprosessi, minkä avulla lopputuotteiden pitoisuudet alittavat EU:n raja-arvot [23]. Tehtaalla on kuitenkin tärkeä tietää sinne tulevan raakakalan dioksiini- ja PCB-pitoisuudet, jotta puhdistusprosessia voidaan tarvittaessa säätää lopputuotteen vaatimustenmukaisuuden varmistamiseksi.

EMKR:n Suomen toimintaohjelman vuosien 2014-2020 osion ”*Tutkijoiden ja kalastajien välinen kumppanuus*” vaikuttavuustavoitteiden painopistealueina ovat uusien, yksityisen ja julkisen sektorin kumppanuuteen perustuvien toimintamallien ja tiedonkeruuteknologioiden kehittäminen ja käyttöönotto erityisesti kalastukseen, kalakantoihin ja vesiympäristön tilaan liittyvän tiedon keruussa ja sen laadun parantamisessa. Lisäksi tavoitteena on parantaa tutkimuksen vaikuttavuutta ja tiedonkeruujärjestelmien kustannustehokkuutta sekä luoda samalla uusia toimeentulomahdollisuuksia kaupallisille kalastajille. Huomioiden tehtaan tulevan kalamassan alueellinen kattavuus ja määrä sekä muu pyynnin ohella kerättävä tai kerättävissä oleva tieto, tehtaan katsottiin tämän hankkeen suunnitteluvaiheessa tarjoavan täysin uuden mahdollisuuden rakentaa edellä mainittuihin vaikuttavuustavoitteisiin liittyviä kumppanuusverkostoja tehdasta palvelevien kalastajien, tehtaan henkilöstön ja tutkijoiden välille. Koska dioksiini- ja PCB-yhdisteisiin kohdistuu paljon julkisen sektorin lakisääteistä seurantaa ja ne vaikuttavat merkittävästi raakasilakan ja silakkajalosteiden kaupallisiin vientimahdollisuuksiin ja tehtaan toimintaan, päätettiin KALAKAS-projektissa pilotoida yksityisen ja julkisen sektorin kumppanuutta käyttämällä tehtaalle tulevaa silakkaa molempia osapuolia hyödyttävällä tavalla.

1.8. KALAKAS-hankkeen tavoitteet

KALAKAS-hankkeen tutkimussuunnitelmaan (Liite 2) kirjatut tavoitteet ovat:

1. Selvittää tehtaalle tulevan kalamassan soveltuvuus EU-kalat III hanketta vastaavan alueellisen näytteenoton suorittamiseen. Suorittaa mahdollisimman tarkasti vastaava näytteenotto ja verrata tästä näytteenotosta mitattujen haitta-aineiden pitoisuuksia EU-kalat III hankkeen näytteenotosta saatuihin tuloksiin huomioiden erot näytteenottoajankohdissa. Arvioida kummankin näytteenottotavan kustannukset.
2. Kehittää EU-kalat III hankkeessa käytettyjä haitta-aineiden mittaamenetelmiä olennaisesti kustannustehokkaampi menetelmä ja verrata eri menetelmien tuottamien tulosten yhtäpitävyyttä.
3. Arvioida voiko saman näytteenoton ja analyysien avulla toteuttaa kustannustehokkaan seurannan, joka täyttää sekä elintarvikevalvonnan että ympäristön tilan seurannan vaatimukset.
4. Tutkia voiko tehtaalle tulevasta kalamassasta otettujen näytteiden perusteella luotettavasti arvioida tutkittavien haitta-aineiden poistumaa Suomen merialueilta.
5. Tehdä selvitys siitä, mitä muita vaikuttavuustavoitteita tehdasta solmukohtana käyttävä tutkijoiden ja kalastajien välinen kumppanuus voi palvella.

KALAKAS- ja TUKALA-hankkeiden tulokset sekä EFSA:n uusi riskinarviointi vaikuttivat siihen, mitä menetelmiä ja tuloksia tähän loppuraporttiin lopulta koottiin. KALAKAS-hankkeen aineiston ja tulosten lisäksi alle on koottu myös TUKALA-hankkeen aineistoa ja tuloksia niiltä osin kuin ne auttavat varautumaan EFSA:n riskinarviointia seuraaviin EU-tason toimenpiteisiin, mitkä voivat koskea elintarvikkeena ja rehuna käytettävän kalan suurimpia sallittuja pitoisuuksia, sekä turvaamaan kalastuksen jatkuvuutta.

2. HANKKEEN TOIMET

2.1. Yhteistyötahot, ohjausryhmä ja keskeiset sidosryhmät

Hankkeen toteutuksesta vastasivat THL, Luke, SYKE ja Ab Salmonfarm Oy tutkimussuunnitelmassa eritellyllä työnjaolla (Liite 2). Hankkeen ohjausryhmän kokoonpano päätettiin hankkeen aloituskokouksessa Kasnäsissä 8.3.2017. Siihen kuuluivat kokouksessa olleet Panu Rantakokko (THL), Roger Hakalax (Ab Salmonfarm Oy), Ari Leskelä (Luke) ja Heikki Peltonen (SYKE). Kokouksessa ohjausryhmään päätettiin kutsua edellä mainittujen lisäksi Knut-Olof Lerche (Raisioaqua Oy), Kim Jordas (Suomen Ammattikalastajien Liitto, SAKL) ja Hannu Kiviranta (THL). Ohjausryhmän Lerche ja Jordas edustivat myös hankkeen kannalta keskeisiä sidosryhmiä.

Ohjausryhmä on kokoontunut kerran hankkeen aikana (12.02.2018), jolloin käytiin läpi hankkeen eteneminen ja muutokset tutkimussuunnitelmaan. Lisäksi ohjausryhmää on tiedotettu projektin aikataulun muutoksista (kts. alla) ja se on hyväksynyt tämän loppuraportin sisällön.

2.2. Hankkeen resurssit, rahoitus ja aikataulu

Varsinais-Suomen ELY-keskus myönsi päätöksessään 16.2.2017 hakijalle tukea hankkeeseen (hanke nro 33300) enintään 109 969,30 euroa, mikä oli 100,00 % hyväksytyjen kustannusten kokonaismäärästä.

Hankkeen alkuperäinen aikataulu oli 1.3.2017 - 31.12.2018. THL jätti 17.5.2018 ELY-keskukseen lisäaikahakemuksen, missä anottiin KALAKAS-hankkeen tukikelpoisten kustannusten korvaamiselle lisäaikaa 31.5.2019 asti ja viimeisen maksatushakemuksen jättämiseen ELY-keskukselle lisäaikaa 31.8.2019 asti.

Anottu lisäaika ei muuttanut hankkeen kokonaisbudjettia eikä kustannusten jakautumista eri kustannuslajien kesken. ELY-keskus hyväksyi jatkoajan 25.05.2018 päivätyllä päätöksellään.

2.3. Näytteenottosuunnitelma

KALAKAS-hankkeen näytteenottosuunnitelma (Liite 3) perustui EU-kalat III hankkeen näytteenottosuunnitelmaan. Suunnitelman mukaan näytteet tuli ottaa keväällä 2017 vastaavilta merialueilta (Perämereltä Suomenlahdelle) tulleesta saaliista ja samoista kokoluokista kuin EU-kalat III hankkeessa, jotta näytteenotossa saavutettaisiin mahdollisimman suuri vastaavuus vuodenaika ja näytteenottoaika huomioiden. Lisänäytteenä kaikille merialueille suunniteltiin myös pienten 5-12 cm silakoiden kokoomänäytettä, koska tätä kokoluokkaa tulee tehtaalle merkittäviä määriä saaliin mukana. Toteutunut näytteenotto on kuvattu tulosten yhteydessä.

2.4. Eri näytteenottotapojen kustannusten vertailu

Yksi hankkeen tavoitteista oli verrata kalajauhotehtaalla ja suoraan saaliin purkusatamiin saapuvilta aluksilta suoritettujen näytteenotosten kustannuksia. Projektin kuluessa kävivät ilmi tehtaalla suoritettujen näytteenotosten ongelmat, joten katsottiin, että kustannusvertailua ei ole mielekäästä tehdä. Ongelmakohtat on kuvattu tarkemmin tulosten yhteydessä.

2.5. Dioksiini- ja PCB-yhdisteiden määritykset

Kaikkien 17 dioksiinin, 12 DL-PCB:n ja 6 Ind-PCB:n pitoisuudet määritettiin samalla ”standardimenetelmällä” kuin EU-kalat III hankkeessa (EU-kalat III). KALAKAS-hankkeen seurantaryhmän päätöksen mukaan (Liite 4) kaikista hankkeessa kerätyistä näytteistä määritettiin em. dioksiinit, dioksiinien kaltaiset PCB:t (DL-PCB:t) ja Ind-PCB:t. Alkuperäisessä suunnitelmassa tämä oli tarkoitus tehdä vain noin puolelle hankkeen näytteistä.

2.6. EU-kalat III ja KALAKAS-hankkeen tulosten vertailu

Samoilta merialueilta, kokoluokista ja vuodenaajoilta EU-kalat III ja KALAKAS-hankkeiden puitteissa otettujen kokoomänäytteiden keskiarvoja verrattiin toisiinsa. Ajallinen ero näytteenotossa huomioitiin laskemalla ensin EU-kalat I (2002), II (2009) ja III (2016) hankkeista pitoisuuksien prosentuaalinen vuotuinen vähenemä eri kokoluokissa kullakin merialueella ja muuntamalla KALAKAS-näytteiden tulokset ajallisesti EU-kalat III –näytteiden tulosten kanssa vertailukelpoisiksi ottaen huomioon tämä pitoisuuksien vuotuinen laskunopeus. Verrattiin myös KALAKAS- ja EU-kalat III näytteiden kuiva-aine ja rasvapitoisuuksien eroja, koska kuljetus tehtaalle voi muuttaa kalan kosteuspitoisuutta.

2.7. POP-pikamenetelmän kehitys

Menetelmäkehityksen lähtökohtana käytettiin uuton osalta hieman muunneltua standardia ISO 16703:2003 (öljyhiilivedyt maasta). Standardista poiketen ensivaiheen uuttoa tehostettiin käytettiin 1:1 etanoli:asetonia pelkän asetonin sijaan ja näytettä tasapainotettiin 50 °C ultraäänihauteessa 30 min. Kalaöljy puhdistettiin rikkihappopesulla ja silika-pylvällä. Puhdistettu näyte konsentroitiin GC-MS/MS ajoon. POP-yhdisteiden GC-MS/MS analyysi suoritettiin hieman muokatulla menetelmällä, mitä THL:ssä on aikaisemmin käytetty PCB-, OCP- ja PBDE-yhdisteiden määrittämiseen seeruminäytteistä [24]. BFR-yhdisteiden GC-MS/MS analyysi suoritettiin menetelmällä, jota THL on käyttänyt pölynäytteille [25].

2.8. Standardimenetelmän ja pikamenetelmän tulosten vertailu

Tutkimussuunnitelman mukaan pikamenetelmällä oli tarkoitus määrittää 2 dioksiinikongeneeriä ja 10 PCB-kongeneeriä ml. kaikki 6 Ind-PCB-yhdistettä. Dioksiineja ei kuitenkaan pystytty määrittämään tuloksissa

kuvatuista syistä. PCB-tulosten vertailussa käytettiin EU-kalat III projektin silakka- ja ahvennäytteitä. Kummallakin menetelmällä määritettiin myös BFR-yhdisteisiin kuuluvat PBDE-yhdisteet. Lisäksi verrattiin kummallakin menetelmällä määritettyjen Pika/Perinteinen -tulosten suhteita ja niiden keskiarvoa eri yhdisteille. EU-kalat III hankkeessa ei määritetty OCP-, uusia BFR- ja CP-yhdisteitä, mistä syystä näiden yhdisteiden analyysin toimivuus pikamenetelmän validoinnissa arvioitiin käyttäen muita matriiseja (pöly- ja seerumi), mitkä sisälsivät tunnetun määrän näitä yhdisteitä.

2.9. Ind-PCB-yhdisteiden ja TEQ-pitoisuuksien suhdanalyysi

On mahdollista, että eri kokoomanäytteistä mitattujen pitoisuuksien vaihtelu on tärkein epävarmuuslähde dioksiini-TEQ ja Summa-TEQ mittauksissa. Tällöin vain yhdestä kokoomanäytteestä tehty analyysi voi antaa harhaisia tuloksia. TUKALA-hankkeessa kerättyjen rinnakkaisten näytteiden tuloksilla arvioitiin kuinka hyvin silakan Ind-PCB-pitoisuus ennustaa dioksiini-TEQ ja Summa-TEQ pitoisuuksia, kun analyysin ryhmittelevinä muuttujina ovat näytteenoton aika, paikka ja silakoiden kokoluokka.

2.10. Elintarvikevalvonnan ja ympäristön tilan seurannan yhdistäminen ja kustannustehokkuus

EU:n elintarvikelainsäädännöstä ja SYKE:n merenhoitosuunnitelman laadinnasta vastaavilta asiantuntijoilta kerättyjen tietojen perusteella tehtiin yhteenveto elintarvikevalvonnan ja ympäristön tilan seurannan tietotarpeista dioksiini- ja PCB-yhdisteiden osalta ja mahdollisuuksista kustannussäästöihin huomioiden kohdan 2.9. suhdanalyseistä saadut tulokset.

2.11. Kalastuksen ja Kasnäsin kalajauhotehtaan merkitys POP-yhdisteiden poistumaan Selkämerellä

Tässä hankkeessa arvioitiin uusien analyysitulosten ja aiheesta julkaistujen tutkimustulosten avulla millainen merkitys kalastuksella on dioksiinien ja PCB-yhdisteiden ainetaseisiin Selkämerellä ja poistumiseen kyseiseltä merialueelta verrattuna muihin poistumisreitteihin. Silakkasaaliin mukana poistuva ja kalakantaan sitoutuneet PCDD/F- ja PCB-määrät arvioitiin käyttäen silakkakannan tila-arvioita vuodelle 2015. Vuoteen 2015 asti Selkämeren ja Perämeren silakkakannoille tehtiin omat kalakanta-arviot (ICES 2016), aluekohtaisia arvioita ei enää sen jälkeen ole käytettävissä, koska 2017 alkaen on kanta-arviot tehty koko Pohjanlahdelle. Arvioissa käytettiin KALAKAS-hankkeen PCDD/F- ja PCB-pitoisuusaineistoja Selkämeren keskiosasta syksyltä 2017. Silakkakantaan ja -saaliiseen sitoutuneita PCDD/F ja PCB määriä verrattiin Selkämeren ainetaseista julkaistuihin tutkimuksiin.

2.12. Dioksiini- ja PCB-yhdisteiden pitoisuuksien lasku Selkämerellä ja EU:n dioksiinipolitiikka

EFSA:n marraskuussa 2018 julkaisema dioksiini- ja PCB-riskinarviointi voi johtaa kalan raja-arvojen laskuun. Yksi riskinarvioinnin johtopäätöksistä oli tarve tarkistaa PCB-126:n TEF-arvoa alaspäin, mikä helpottaisi raja-arvojen saavuttamista PCB-yhdisteiden osalta. Toisaalta dioksiinit ovat kuitenkin jo nyt ratkaisevassa roolissa isokokaisen silakan vientirajoitusten kannalta ja laskevat dioksiinien raja-arvot vaikeuttaisivat tilannetta entisestään, vaikka myös dioksiinien pitoisuudet silakassa ovat laskussa. Tilanteen seuraamiseksi EU-kalat I-III, KALAKAS- ja TUKALA-hankkeiden tuloksista tehtiin regressiomalli, jonka avulla ennustettiin silakan dioksiini- ja PCB-pitoisuuksien muutokset vuoteen 2025 perustuen Selkämeren silakkaan. Mallinnuksen perusteella arvioitiin milloin eri kokoluokkien silakat alittavat nykyiset EU:n raja-arvot ja arvioitiin myös PCB-126:n TEF-arvojen muutosten vaikutus.



2.13. Kasnäsin tehdas tutkijoiden ja kalastajien välisen kumppanuuden solmukohtana

Hankkeen kokemusten perusteella sen osapuolet tekivät yhteenvedon toteutuneen kumppanuuden toimivuudesta sekä analyysin tutkimuksen ja tehtaan toiminnan tulevaisuuden kysymyksistä ja haasteista. Analyysi tehtiin suhteessa ”Tutkijoiden ja kalastajien välinen kumppanuus” -ohjelman vaikuttavuustavoitteisiin.

2.14. Hankkeen tuloksista tiedottaminen

Hankkeen tiedottaminen on kuvattu tutkimussuunnitelmassa (Liite 2). Suunnitelma pitää sisällään tiedottamisen 2 kertaa vuodessa kalastuksen innovaatio-ohjelmaa varten perustettavalle ohjausryhmälle, tiedottamisen tulosten ensisijaisille hyödyntäjille järjestettävissä seminaareissa sekä tulosten julkaisun kalastus- ja elintarvikealan ammattilehdissä ja vertaisarvioituissa kansainvälisissä julkaisusarjoissa.

3. TULOKSET

3.1. Näytteenotto

3.1.1. Toteutunut näytteenotto Kasnäsin tehtaalla

Toteutunut näytteenotto Kasnäsin tehtaalla (Liite 5) poikkesi ajallisesti ja paikallisesti alkuperäisestä suunnitelmasta. Näytteenottosuunnitelmaa päivitettiin helmikuussa 2018 pidetyssä ohjausryhmän kokouksessa (Liite 4). Päivitetty suunnitelma perustui siihen asti otettuihin näytteisiin ja niiden tuloksiin, EU kalat III hankkeen tuloksiin sekä TUKALA-hankkeen tutkimussuunnitelmaan. Päivitetystä näytteenottosuunnitelmassa EU-kalat III hankkeen alueet katettiin mahdollisuuksien mukaan, mutta erityinen painopiste siirrettiin Selkämeren etelä- ja keskiosiin, koska tehtaalle tulee eniten kalaa näiltä silakan tärkeimmiltä pyyntialueilta. Tärkeimmät muutokset näytteenottosuunnitelmaan ja niiden syyt olivat:

- Tehtaan kiireiden ja henkilökuntavajauksen takia keväällä 2017 saatiin kaikkien kokoluokkien näytteet vain Selkämeren eteläosasta (ICES tilastoruutu 50H0/ Suomen tilastoruutu 46), muiden alueiden näytteenotto jäi myöhempään ajankohtaan.
- Tehtaalle ei tullut juurikaan kalaa Perämereltä, mistä syystä Perämeren näytteet korvattiin Selkämeren eteläosan 2017 syysnäytteillä (ICES tilastoruutu 50G9 / Suomen tilastoruutu 45), mitkä otettiin myös EU kalat III hankkeessa syksyllä 2016 (ICES tilastoruutu 50H0/ Suomen tilastoruutu 46)
- Syksyllä 2017 otettiin näytteet myös Selkämeren keskiosasta (ICES tilastoruutu 52G8/ Suomen tilastoruutu 34) alueelliseen vertailuun Selkämeren eteläosan kanssa (ICES tilastoruutu 50G9/ Suomen tilastoruutu 45), koska haluttiin varmistaa näytteet tältä tehtaalle tärkeältä kalastusalueelta.
- Keväällä 2018 otettiin näytteet lähellä tehdasta olevista Saaristomeren (ICES tilastoruutu 49H2/ Suomen tilastoruutu 52) ja Suomenlahden (ICES 48H3/ Suomen tilastoruutu 62) ruuduista. On huomioitava, että EU-kalat III:n Suomenlahden näytteenottoalue oli huomattavasti idempänä (ICES tilastoruutu 49H6/ Suomen tilastoruutu 55) Kymijoen vaikutuspiirissä.
- Keväällä 2018 suoritettiin Selkämeren etelä- (ICES tilastoruutu 50H0/ Suomen tilastoruutu 46) ja keskiosista (ICES tilastoruutu 52H0/ Suomen tilastoruutu 36) ylimääräinen kaksinkertainen näytteenotto (2 poolia/kokoluokka/alue) kahdesta eri pyyntierästä kokoluokille 14-15,9 cm ja 16-17,9 cm, jotka ovat tehtaalle tulevan silakan tärkeimmät kokoluokat ja kalastusalueet. Ko. näytteiden avulla haluttiin selvittää tulosten vaihtelua saman ajankohdan ja merialueen eri pyyntierissä.

- Kilohailin näytteenotto rajautui vähäisen saaliin takia yhteen kokoomanäytteeseen kokoluokassa 10-10,9 cm syksyllä 2017 (Selkämeri etelä, ICES tilastoruutu 50G9/ Suomen tilastoruutu 45) ja ei-kokoluokiteltuun kokoomanäytteeseen keväällä 2018 (Saaristomeri ICES tilastoruutu 48H1/ Suomen tilastoruutu 60).

TUKALA-hankkeen kehittämiskohdan 2 (kts. kohta 1.4) puitteissa otettiin silakan rinnakkaisnäytteitä Selkämeren etelä- ja keskiosien suurimmista kokoluokista 18-18,9 cm ja 19-21 cm keväällä 2018, syksyllä 2018 ja keväällä 2019 (Liite 6). EU-kalat III hankkeessa näiltä merialueilta vuonna 2016 otetuissa 18-18,9 cm silakoissa EU:n raja-arvot dioksiini-TEQ:lle ylittyi vielä niukasti, mutta loppuraportissa pitoisuuksien arvioitiin laskevan raja-arvojen alle mahdollisesti jo vuonna 2018 (EU kalat III). Näin kävikin. Kevään 2019 näytteenotossa jopa kokoluokan 19-21 cm Selkämeren keskiosan kumpikin kokoomanäyte alitti raja-arvon (3,03 ja 3,28 pg/g) (Liite 6). Helmikuun 2018 seurantaryhmän pöytäkirjasta poiketen (Liite 4) pikamenetelmällä määritettävien EU-kalat III näytteiden määrää kuitenkin laskettiin jonkin verran (vain 25 silakkaa ja 5 ahventa), koska TUKALA-hankkeen resursseja päätettiin myöhemmin keväällä 2018 suunnata jonkin verran alkuperäisestä poikkeavalla tavalla muualle kuin työpakettiin 2.

3.1.2. Tehtaan kokemukset näytteenotosta

Seurantaryhmän kokouksessa 12.2.2018 Kasnäsin kalajauhotehtaan edustaja Roger Hakalax kertoi KALAKAS-hankkeesta tehdystä yhteistyöstä ja näytteenotosta. Tämän kaltaiseen tutkimukseen osallistuminen oli tehtaalte uutta ja sen yhteydessä havaittiin seuraavia haasteita:

- Tehtaalla oli työvoimaresursseihin liittyviä ongelmia erityisesti keväällä 2017, mikä toi haasteita kevään 2017 suunnitelmaan nähden vain osittain toteutuneessa näytteenotossa.
- Tehtaalle tulevasta kalasta on ollut vaikeaa saada kattavia taustatietoa osalta kalastajista (esim. kalastusruudut jne).
- Kala menee erittäin helposti rikki siirtojen ja kuljetuksen eri vaiheissa, erityisesti rekalla tulevat kalat ovat useimmiten rikki. Lisäksi keväällä tehtaalte tulevat kalat on useammin rikki kuin syksyllä tulevat. Rikkinäisiä kaloja ei voi käyttää pituusluokiteltujen silakkanäytteiden keräämiseen.
- Joistakin alkuperäisessä näytteenottosuunnitelmassa mainituista kalastusruuduista tuli vain vähän kalaa tehtaalte, ja kaikista ruuduista ei edes kalastettu.
- Tehtaalle tuleva kala on verraten pientä. Keskusteluissa todettiin, että erityisesti Selkämereltä pyydetystä silakasta lajitellaan todennäköisesti ainakin ajoittain pois ihmisravinnoksi tarkoitetut suuret silakat. Siksi suurin osa tehtaalte tulevasta silakasta kuuluu kokoluokkiin 13-16 cm. Luken saalistilastojen mukaan vuonna 2017 ≥ 17 cm silakoita oli Selkämeren saaliissa lukumääräisesti runsaasti, eli 32 %, mikä myös viittaa kalan lajitteluun ennen sen toimitusta tehtaalte.
- Tehdas on kuitenkin motivoitunut jatkamaan hanketta, koska siitä saatu tieto on heille tärkeää. Myös Kalastuksen innovaatio-ohjelmassa kerättävä ennakoiva tieto uusien, mahdollisesti EU:n sääntelyn piiriin tulevien POP-yhdisteiden pitoisuuksista, on tehtaalte tärkeää.

3.2. Eri näytteenottotapojen vertailu

Edellä kohdassa 3.1.1. ja 3.1.2. on kuvattu ne ongelmat, joita hankkeen aikana havaittiin tehtaalte suoritetussa elintarvikekäyttöön tarkoitetun kalan näytteenotossa dioksiini- ja PCB-yhdisteiden analytiikkaa varten. Osa puutteista olisi periaatteessa korjattavissa, jos aluksilta kerättävää tietoa jaettaisiin enemmän automaattisesti (esim. kalastusruudut). Osalle asioista taas on vaikeaa tehdä mitään teknisistä (kalojen hajoaminen siirroissa/kuljetuksessa), pyyntialueisiin ja kalan esilajitteluun liittyvistä seikoista johtuen. Näytteenotto on lisäksi päivistyksenomaista, koska lasti voi tulla tehtaalte rekalla tai laivalla käytännössä mihin vuorokauden aikaan tahansa ja näytteenottoa varten on oltava riittävä määrä koulutettua henkilökuntaa. Näytteenoton



kustannukset tehtaalla ovat periaatteessa laskettavissa yksinkertaisella tunti-laskutuksella, mutta näytteenoton kestossa voi olla vaihtelua riippuen siitä kuinka paljon ehjiä kaloja halutussa kokoluokassa on.

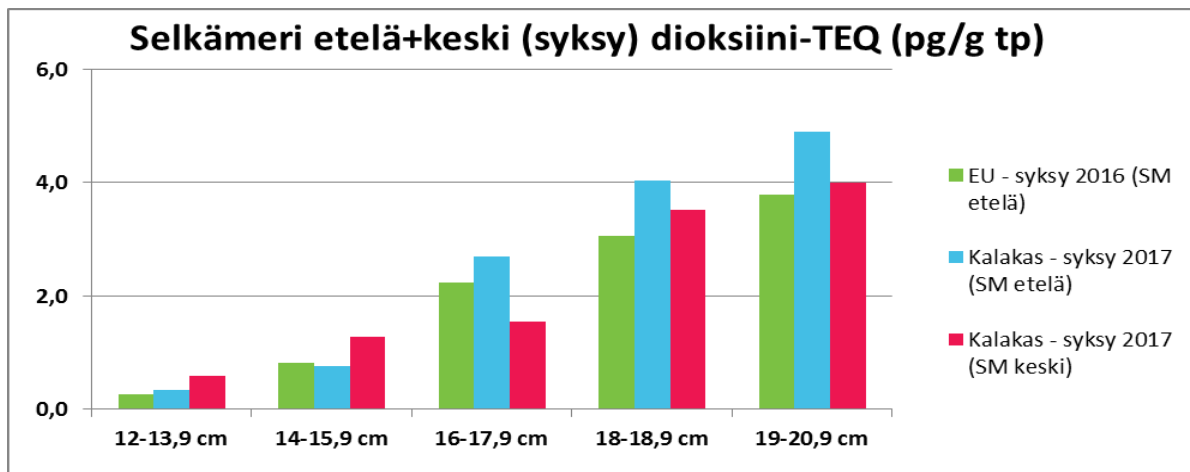
Luke kerää ammattikalastuksen saaliista biologista aineistoa, jonka kohteena on mm. silakan ja kilohailin trooli- ja rysäkalastus. Näytteitä silakan- ja kilohailin kalastuksen saaliista otetaan vuoden ympäri kalastustilanteen mukaan, näytteenoton ensisijainen tarkoitus on silakan ja kilohailin kanta-arvioihin tarvittavan datan tuottaminen. Näytteiden keruuta varten on 4 toimipaikkaa, joissa kussakin 1-3 henkilöä ottaa ja käsittelee näytteitä. Tämä kalatalouden EU-tiedonkeruuohjelmaan (EU-TIKE) sisältyvä saalisnäytteenotto on luonut toimivan yhteistyöverkoston ammattikalastajien kanssa ja sitä käytetään tutkimusalustana myös muulle tiedonkeruulle ja hankkeille. EU-TIKE:en liittyy kuitenkin epävarmuutta siitä riittääkö näytteenoton kattavuus, koska esim. vuonna 2016 vain 25 yhteensä 97 aluksesta oli näytteenoton piirissä. Ei ole varmuutta onko muiden alusten saaliin koostumus samanlainen kuin seurannassa olevien. Näitä puutteita korjaamaan pyrkivä kalatalouden EU-tiedonkeruuohjelman asetusuudistus tuli voimaan 1.1.2017, missä näytteenoton piiriin tulevat kalastusmatkat satunnaistetaan (Statistically Sound Sampling Scheme, 4S) ja myös näytteenotosta kieltäytymiset on kirjattava ("Refusal rate"). Luke käynnisti 4S-näytteenoton silakan ja kilohailin troolikalastuksen osalta 1.1.2019 alkaen osana EU-tiedonkeruuta, joten myös TUKALA-hankkeen kevään 2019 näytteet kerättiin 4S-näytteenotolla. Lukessa kokemukset 4S-näytteenotosta keväältä 2019 ovat olleet hyviä.

Näiden kokemusten valossa ei katsottu mielekkääksi mallintaa keskitetyn (Kasnäs) ja hajautetun (Luke 4S) näytteenoton kustannustehokkuuden eroja. KALAKAS-hankkeen puitteissa luotiin kuitenkin toimivat yhteydet Luken 4S-näytteenoton koordinaation ja Kasnäsin tehtaan henkilökunnan välille. Lisäsi Kasnäsiin saaliinsa purkavat alukset ovat mukana 4S-näytteenoton piirissä. Näiltä osin KALAKAS-hanke toteutti tutkijoiden ja kalatalouselinkeinon välisen verkottumisen tavoitteita.

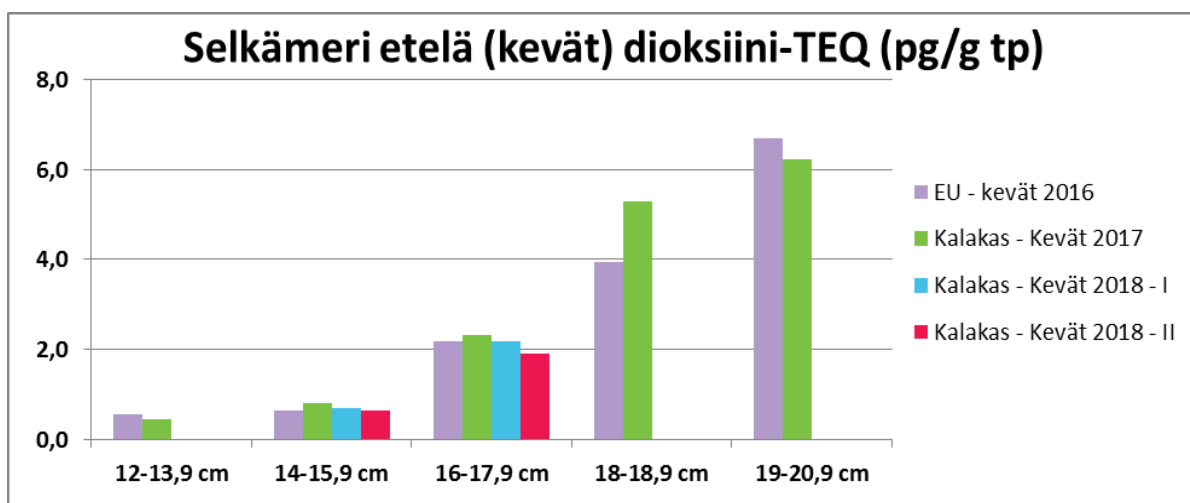
3.3. EU kalat III ja KALAKAS tulosten vertailu

Kasnäsin tehtaalta otettujen silakan ja kilohailin kokoomanäytteiden tulokset ovat liitteessä 5, missä tilan säästämiseksi on vain EU-lainsäädännössä esiintyvät dioksiini-TEQ, Summa-TEQ ja Ind-PCB, mutta ei yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksia. Kuvassa 1 on esitetty graafisesti Selkämereltä (etelä- ja keskiosat) **syksyllä** otettujen näytteiden näytteenottoajalla korjatut dioksiini-TEQ pitoisuudet EU kalat III - ja KALAKAS-hankkeista. Vaikka Selkämeren etelä- ja keskiosat käsiteltiin EU-kalat III hankkeessa erillisinä alueina, näytteenottoteknisistä syistä tässä hankkeessa koko Selkämereltä syksyllä 2016 (EU kalat III) ja 2017 (KALAKAS) suoritettujen näytteenotot yhdistettiin samaan kuvaan. Kuvan 1 profiili on hyvin samanlainen myös Summa-TEQ:lle ja Ind-PCB:lle, eikä niitä liitetty siksi loppuraporttiin. Kuvissa 2 ja 3 on esitetty vastaavat dioksiini-TEQ pitoisuudet Selkämeren eteläosan ja Saaristomeren **keväänäytteistä**. Kaikkiaan kuvista 1, 2 ja 3 huomaa, että eri näytteenottoaikoissa ja kokoluokissa KALAKAS-näytteiden pitoisuudet ovat satunnaisesti suurempia tai pienempiä kuin EU-kalat III näytteiden pitoisuudet. Lisäksi kuvasta 2 havaitaan, että keväällä 2018 eteläiseltä Selkämereltä tehtaalle tulevan silakan tärkeimpien kokoluokkien (14-15,9 cm ja 16-17,9 cm) rinnakkaisnäytteiden (Kevät 2018 I ja II) pitoisuudet olivat verraten pieniä ja lähes yhteneviä. Kokoomanäytteiden tulosten hajontaa laajemmassa otannassa käsitellään tarkemmin alla.

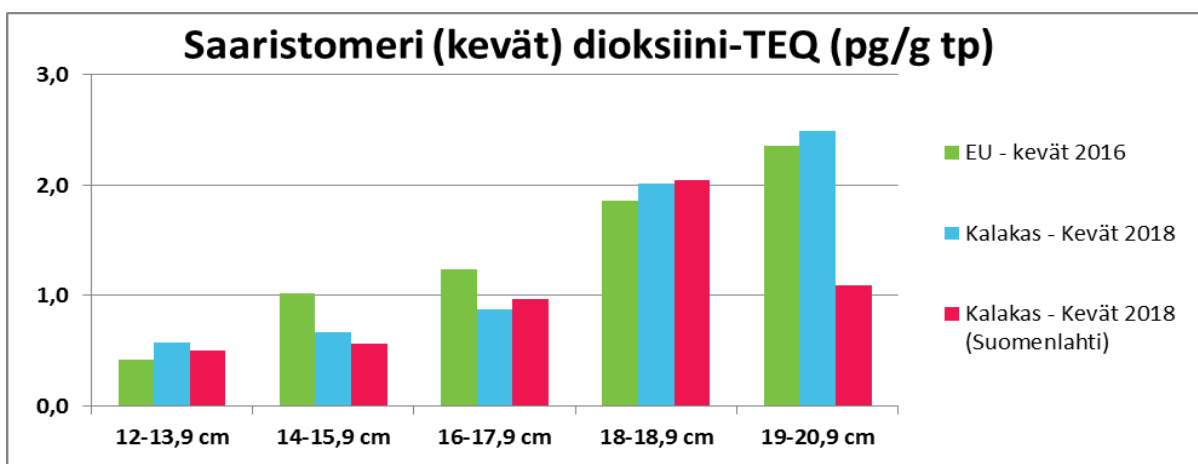
Yhteenvedona voidaan todeta, että näytteenotto tehtaalla tuottaa vertailukelpoisia tuloksia suhteessa EU kalat III hankkeen näytteenottoon.



Kuva 1: Selkämeren etelä- ja keskiosasta EU kalat III ja KALAKAS-hankkeissa syksyllä otettujen eri kokoluokkien silakkanäytteiden näytteenottoajalla korjatut dioksiini-TEQ pitoisuudet.



Kuva 2: Selkämeren eteläosasta EU kalat III ja KALAKAS-hankkeissa keväällä otettujen eri kokoluokkien (cm) silakkanäytteiden näytteenottoajalla korjatut Ind-PCB pitoisuudet.



Kuva 3. Saaristomereltä EU kalat III ja KALAKAS-hankkeissa keväällä otettujen eri kokoluokkien (cm) silakkanäytteiden näytteenottoajalla korjatut dioksiini-TEQ pitoisuudet.



Saaristomeren ja Suomenlahden KALAKAS-näytteet on otettu vierekkäisistä pyyntiruuduista (61 ja 62), mistä syystä ne on tässä yhdistetty samaan kuvaan.

Tulosten hajonnan tarkastelua varten on ensin laskettu EU-kalat III ja näytteenottoajalla korjattujen KALAKAS näytteiden pitoisuuksien suhde saman vuodenajan, saman näytteenottoaikan ja saman kokoluokan silakoiden välille. Lopuksi on laskettu kultakin näytteenottoaikalta otettujen kaikkien kokoluokkien näytteiden suhteille keskiarvot sekä minimi ja maksimi. Esimerkiksi Taulukossa 1 rivin Selkämeri keski+etelä, Syksy, Dioksiini-TEQ 126 (70-214) on saatu laskemalla ensin %-suhde Kuvan 1 kokoluokan 12-13,9 cm silakoille KALAKAS - syksy 2017 (SM etelä) / EU kalat – syksy 2016 (SM etelä). Sama %-suhteen lasku on toistettu 5+5 kertaa eri kokoluokille (5) ja näytteenottoerkoille (SM etelä ja SM keski) ja näistä laskettiin keskiarvo sekä min ja max. Vastaavasti Selkämeren eteläosan kevätinäytteissä %-suhteen lasku on toistettu 5+2+2 kertaa.

Taulukko 1: Kunkin näytteenottoaikan saman vuodenajan silakkanäytteiden KALAKAS/EU-kalat III %-suhteiden keskiarvot sekä min ja max.

Näytteenotto paikka	Vuoden-aika	n *	Dioksiini TEQ ka % (min-max %)	Summa TEQ ka % (min-max %)	Ind-PCBs ka % (min-max %)
Selkämeri keski+etelä	Syksy	5+5	126 (70 - 214)	131 (72 - 249)	139 (84 - 250)
Selkämeri keski	Kevät	2+2	102 (45 - 162)	105 (48 - 161)	113 (65 - 167)
Selkämeri etelä	Kevät	5+2+2	104 (81 - 135)	113 (94 - 134)	117 (93 - 149)
Saaristomeri	Kevät	5+5	90 (46 - 138)	91 (47 - 146)	95 (58 - 129)

*Taulukossa n tarkoittaa KALAKAS-hankkeessa yhdeltä näytteenottoaikalta yhdellä näytteenottoerolla kerättyjen silakan kokoluokkien lukumäärää.

Taulukosta havaitaan, että eri kokoluokkien suhteiden keskiarvot ovat varsin lähellä 100 %, mutta yksittäisten poolien välinen hajonta (min-max) voi olla verraten suurta. Lisäksi pienen aineiston takia yksittäisen näytteen merkitys keskiarvoon voi olla huomattava. Esim. Kuvasta 1 voi havaita, että kokoluokan 12-13,9 cm näyte KALAKAS - syksy 2017 (SM keski) takia %-suhteiden maksimit ovat korkeita (Dioksiini-TEQ 214%, Summa TEQ 249% ja Ind-PCBs 250%), mikä nostaa jonkin verran kaikkia Selkämeri keski+etelä näytteiden keskiarvoja. Selkämeren etelä- ja keskiosien tulosten yhdistäminen samaan tarkasteluun saattaa nostaa tulosten hajontaa.

Sekä perinteinen Luken EU-TIKE näytteenotto että Kasnäsin henkilökunnan tehtaalla suorittama näytteenotto antavat keskimäärin vertailukelpoisia tuloksia samalta merialueilta kerätyistä näytteistä. Yksittäisissä saman kokoluokan pooleista suoritetuissa mittauksissa voi kuitenkin olla suurta hajontaa.

Koska näytteiden pitoisuudet tuorepainoa kohti voivat muuttua kuivumisen takia kun saalista kuljetetaan tehtaalle, verrattiin EU-kalat III- ja KALAKAS hankkeen kevään ja syksyn näytteiden kuivapainoa ja rasva-%:a (Taulukko 2). Erot kevätinäytteiden kuivapaino-%:ssa ja rasva-%:ssa ovat verraten pieniä. Syysnäytteiden rasva-%:t ovat vielä lähempänä toisiaan vaikka näytteet on otettu eri vuosina. Suurin ero oli syysnäytteiden kuivapaino-%:ssa, joka oli yllättäen suurempi EU-kalat III näytteissä (Selkämeri etelä 2016, 29,6%) kuin KALAKAS-näytteissä (Selkämeri etelä ja keski 2017, 25,8%).

Taulukko 2. Kuivapainojen ja rasva-%:n vertailu EU-kalat III ja KALAKAS näytteissä sekä ryhmien välisen keskiarvoeron testaukseen käytetyn T-testin merkitsevyystaso.

Silakka	Kuivapaino-% (kevät)		Kuivapaino-% (syksy)	
	Keskiarvo	n	Keskiarvo	n
EU-kalat III	21,9	25	29,6	5
KALAKAS	20,3	24	25,8	13
	Rasva-% (kevät)		Rasva-% (syksy)	
	Keskiarvo	n	Keskiarvo	n
EU-kalat III	4,1	25	10,6	5
KALAKAS	4,7	24	10,8	13

Näytteiden tehtaalle tapahtuvan kuljetuksen aikana näytteiden kuivapaino ei olennaisesti muutu.

3.4. POP-pikamenetelmän kehitys ja tulosten vertailu standardimenetelmän kanssa

3.4.1. Pikamenetelmän rajoitukset ja kehitystyö validoinnin aikana

Kaikkein paras yhdiste dioksiini-TEQ:n ennustamiseen olisi 2,3,4,7,8-PeCDF, jonka keskimääräinen osuus kaikissa silakan kokoomänäytteissä (EU-kalat, KALAKAS, TUKALA) vuosina 2002-2019 on ollut n. 55 %, mutta esteeksi tuli pikamenetelmällä luotettavan mittaamisen estäviä häiriöitä. TCDD esiintyi liian pieninä pitoisuuksina pikamenetelmällä mitattavaksi ja 12378-PeCDD:lle pikamenetelmä antoi liian suuria tuloksia yhdisteen päälle tulevien häiriöiden takia. Pikamenetelmän dioksiinituloksia ei käsitellä enää jatkossa.

Pikamenetelmällä määritettävistä organoklooripestisideistä (OCP:t) pentaklooribentseeni (PeCB) ja heksaklooribentseeni (HCB) ovat haihtuvia yhdisteitä. Lisäksi ne eluoiuivat pylväs puhdistuksessa osittain ns. jätefraktioon; kumpikin tekijä vähentää yhdisteiden saantia analyysissä. Validoinnin aikana tehtiin muutoksia pylväs puhdistukseen, mikä paransi saantia.

3.4.2. Kosteaa ja kuivaa näytteen uutto

Pikamenetelmällä pyrittiin nopeuttamaan näytteen esikäsittelyä pienentämällä näyttemäärää ja erityisesti uuttamalla tuore näyte kuivatun sijaan. Usein uuttotehokkuus on parempaa kuivatusta näytteestä, missä solut ovat täydellisesti hajonneet. Tämän takia standardin ISO 16703:2003 menettelyihin tehtiin uuttotehokkuutta parantavia muutoksia. Uuttotehokkuus testattiin uuttamalla samaa isokokoista silakkaa tuoreena (n=6) ja kuivana (n=6). Kuivan ja tuoreen näytteen tuloksien ero oli lähes kaikille POP-yhdisteille hyvin pieni (< 6%). Vain kevyimmille POP-yhdisteille (PeCB, HCB, PCB-28, BDE-28) tuoreena uutetun näytteen tulokset olivat 15-45 % suurempia todennäköisesti kylmäkuivauksessa tapahtuvan yhdisteiden haihtumisen takia. Keskimääräinen tarkkuus-% PCB-yhdisteille suhteessa perinteisen menetelmän tuloksiin oli testatulle näytteelle hyvä: kuivalle 100 % ja tuoreelle 103 %.

Pikamenetelmä soveltuu yhtä hyvin kuivalle ja kostealle näytteelle.

3.4.3. Standardimenetelmän ja pikamenetelmän vertailu PCB- ja PBDE-yhdisteille

Standardi- ja pikamenetelmää verrattiin käyttäen EU kalat III hankkeen 25 kylmäkuivatua silakka- ja 5 ahvennäytettä, joista oli määritetty perinteisellä menetelmällä PCB- ja PBDE-yhdisteet. Tulosten yhteenveto on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Pika- ja perinteisen menetelmän vertailu silakalle ja ahvenelle PCB- ja PBDE-yhdisteille EU kalat III näytteistä.

Kalalaji	Silakka (n=25)	Ahven (n=5)
Yhdisteryhmä	ka % (min – max %)	ka % (min – max %)
PCB-153	98 (77-148*)	76 (64-89)
Ind-PCBs	100 (80-142*)	84 (70-99)
∑PCB-14	95 (76-132*)	82 (69-95)
BDE-47	102 (89-130)	93 (83-113)
∑PBDE-6	101 (88-124)	94 (80-116)

*Suuret poikkeamat johtuvat muutamien näytteiden korkeista PCB-138 ja PCB-153 pitoisuuksista.

Suurimmalla osalla PCB- ja PBDE-yhdisteistä pikamenetelmän keskimääräiset saannot silakalle olivat hyväksyttäviä. Muutamilla yksittäisillä näytteillä PCB-138:n ja PCB-153:n saannot pikamenetelmällä olivat korkeat suhteessa perinteiseen, koska suurilla pitoisuuksilla perinteinen menetelmä aliarvioi pitoisuuksia. Pikamenetelmällä BDE-154 tulokset olivat liian korkeat (ka 138 %), koska käytetty lyhyt GC-kolonne ei erota lähellä eluovia BDE-yhdisteitä. ∑PBDE-6 tulokseen tämä ei kuitenkaan juuri vaikuttanut. Ahvenella PCB-pitoisuudet pikamenetelmällä olivat systemaattisesti noin 20 % liian matalia. Syy poikkeamaan on epäselvä, mutta sitä selvitetään jatkossa.

Pikamenetelmä antaa silakalle vertailukelpoisia tuloksia PCB- ja PBDE-yhdisteille.

3.4.4. OCP-, NBFR- ja CP-yhdisteiden määrittäminen pikamenetelmällä

OCP-yhdisteiden tulokset olivat vakaita sekä tuoreena (suhteellinen keskihajonta < 5 %) että kuivana (suhteellinen keskihajonta < 3 %) analysoidusta kontrollisilakkanäytteestä. Tarkkuus kontrollipöly- ja -seeruminäytteistä oli hyväksyttävällä tasolla (75-125 %) kaikille OCP-yhdisteille pl. PeCB, jonka tarkkuuden parantaminen vaatii vielä lisätestejä. Analysoiduissa näytteissä esiintyi eniten p'p-DDE:tä, *trans*-nonaklooria ja HCB:tä.

Pikamenetelmän tarkkuus uusille palonestoaineille pölynäytteestä SRM 2585 suhteessa pölymenetelmällä [25] määritettyihin tuloksiin oli hyväksyttävä bromibentseenille (PBB, PBB, PBEB ja HBB) ja BTBPE:lle (75-114 %). Lisäksi sertifioidusta seeruminäytteestä SRM 1958 havaituille HBB:lle ja BTBPE:lle toistettavuus sarjojen välillä oli erittäin hyvää (RSD < 2 %). EU kalat III näytteissä havaittiin vain hyvin pieniä määriä (≤ 2 pg/g) PBB, HBB ja BTBPE. Nämä olivat alle menetelmän arvioidun määrittämissä rajan 5 pg/g.

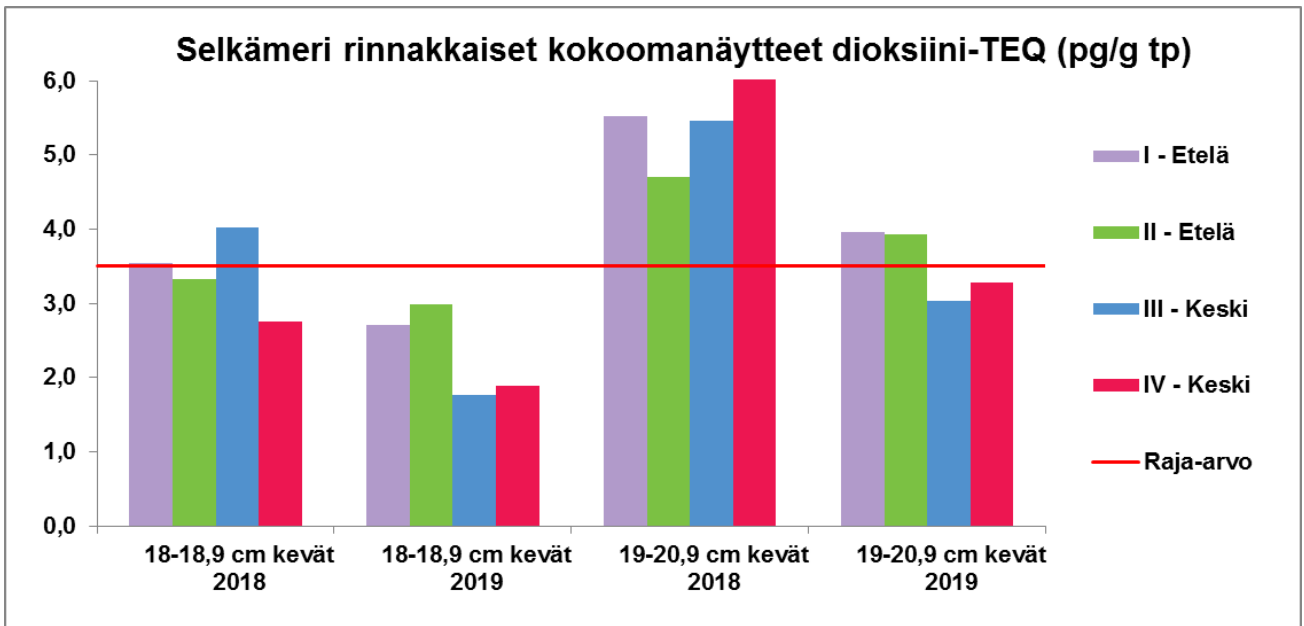
CP-yhdisteiden analyysi ei onnistunut kehitetyllä menetelmällä, koska laboratorion taustakontaminaatio oli liian korkea suhteessa näytteissä havaittuihin pitoisuuksiin. Lisäksi menetelmän tarkkuudessa oli ongelmia. Menetelmän kehitystyötä jatketaan myöhemmin.

Pikamenetelmällä silakkanäytteistä voidaan määrittää tietyt OCP- (HCB, beta-HCH, transnonakloori ja p'p-DDE) ja oletettavasti myös NBFR-yhdisteitä (bromibentseenit ja BTBPE). Uusia palonestoaineita oli silakkanäytteissä vain hyvin pieniä määriä. CP-yhdisteiden määrittäminen vaatii lisäkehitystyötä.

3.4.5. PCB-yhdisteiden ja TEQ-pitoisuuksien suhdanalyysi

TUKALA-hankkeen puitteissa kerättiin keväällä 2018, syksyllä 2018 ja keväällä 2019 yhteensä 24 puulia Selkämereltä kahdesta silakan kokoluokasta (18-19 cm ja 19-21 cm). Havaittiin, että samalta merialueelta samaan aikaan ja samasta silakan kokoluokasta otettujen rinnakkaisten kokoomanäytteiden tulokset voivat poiketa huomattavasti toisistaan. Tämä voi esim. kevään 2018 Selkämeren keskiosan 18-18,9 cm silakoiden

tapauksessa johtaa erilaiseen tulkintaan näytteiden dioksiini-TEQ pitoisuuden vaatimustenmukaisuudesta (Kuva 4). Tästä syystä olisi perusteltua varsinkin raja-arvoa lähellä olevilla kokoluokilla tehdä mittaukset 2-3 rinnakkaisesta kokoomanäytteestä.



Kuva 4. Keväällä 2018 ja keväällä 2019 otettujen 18-18,9 cm ja 19-20,9 cm silakan rinnakkaisten kokoomanäytteiden dioksiini-TEQ Selkämeren etelä- ja keskiosilta otetuista näytteistä.

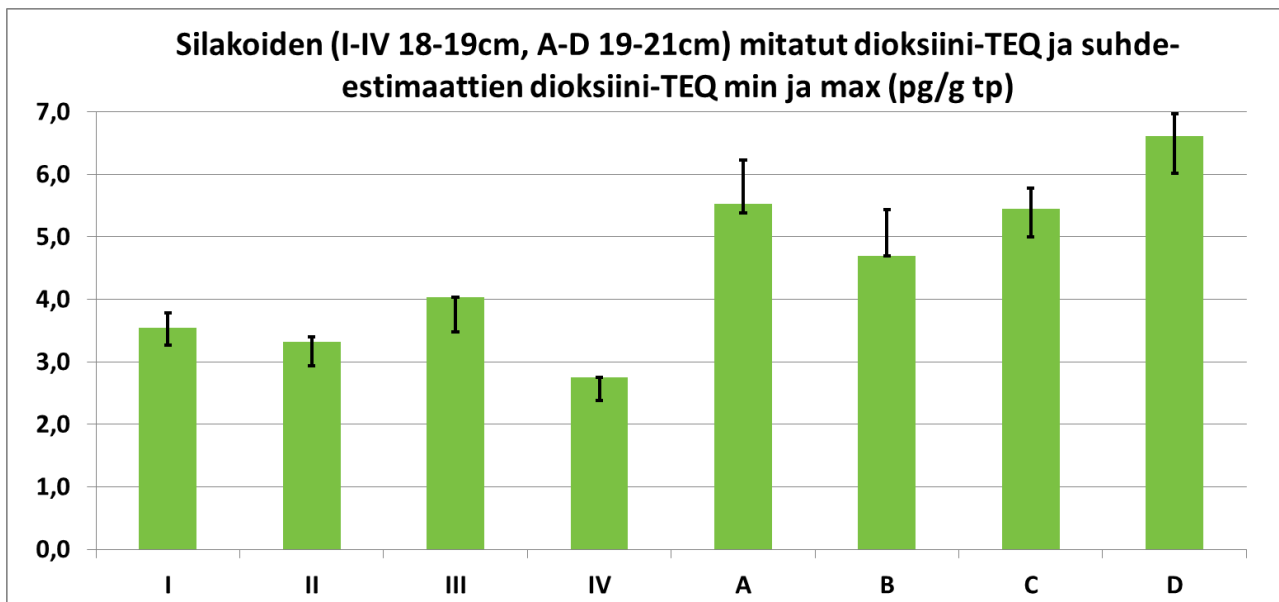
Tämän vuoksi TUKALA-aineistolla selvitettiin kuinka tarkasti minkä tahansa 8 samana vuonna samaan vuodenaikaan Selkämeren etelä- tai keskiosilta otetun 18-18,9 cm tai 19-20,9 cm silakan Ind-PCB/Diox-TEQ –suhteen avulla voidaan laskea muiden 7 näytteen Diox-TEQ kun niistä on mitattu vain Ind-PCB:t. Käytännössä siis laskettiin mielivaltaisen kokoomanäytteen K (K = 1-8) mitatuilla (m) pitoisuuksilla:

$$\text{SUHDE}_{K-m} = \text{Ind-PCB}_{K-m} / \text{Diox-TEQ}_{K-m} \quad (\text{kaava 1})$$

Sitten testattiin kuinka tarkasti jonkin muun rinnakkaisnäytteen N (N≠K) mitatulla Ind-PCB-pitoisuudella (Ind-PCB_{N-m}) saadaan laskettua tämän näytteen estimoitu (e) dioksiinipitoisuus Diox-TEQ_{N-e} kaavalla:

$$\text{Diox-TEQ}_{N-e} = \text{Ind-PCB}_{N-m} * \text{SUHDE}_{K-m} \quad (\text{kaava 2})$$

Analyysissä Selkämeren 8 kokoomanäytteelle laadittiin siis 8*8 -matriisi, missä jokaisella rivillä ja sarakeella on 1 mitattu ja 7 laskennallista tulosta. Matriisi on vedetty yhteen graafisesti Kuvassa 5, missä vihreä palkki esittää alkuperäisen dioksiini-TEQ tuloksen ja mustat virhejanat suhdanalyysin avulla saatujen 7 muun tuloksen suurinta ja pienintä arvoa. Suhdeanalyysillä laskettu tulos oli kaikille näytteille aina 85-120 % mitatusta tuloksesta ja tarkkuuden 10-90 persentiilit olivat 91-110 %. Eli testiaineistolla virhe on maksimissaan noin 20 % ja 80 %:lle näytteistä virhe on pienempi kuin 10 %. Analyysi toistettiin erikseen myös syksyllä 2018 ja keväällä 2019 kerätyille 8 kokoomanäytteelle ja tulos oli identtinen.



Kuva 5. Keväällä 2018 Selkämereltä otettujen rinnakkaisten kokoomanäytteiden mitatut dioksiini-TEQ pitoisuudet 18-19 cm (I-IV) ja 19-21 cm (A-D) silakassa sekä suhde-estimoinnilla saatujen pitoisuuksien min-max.

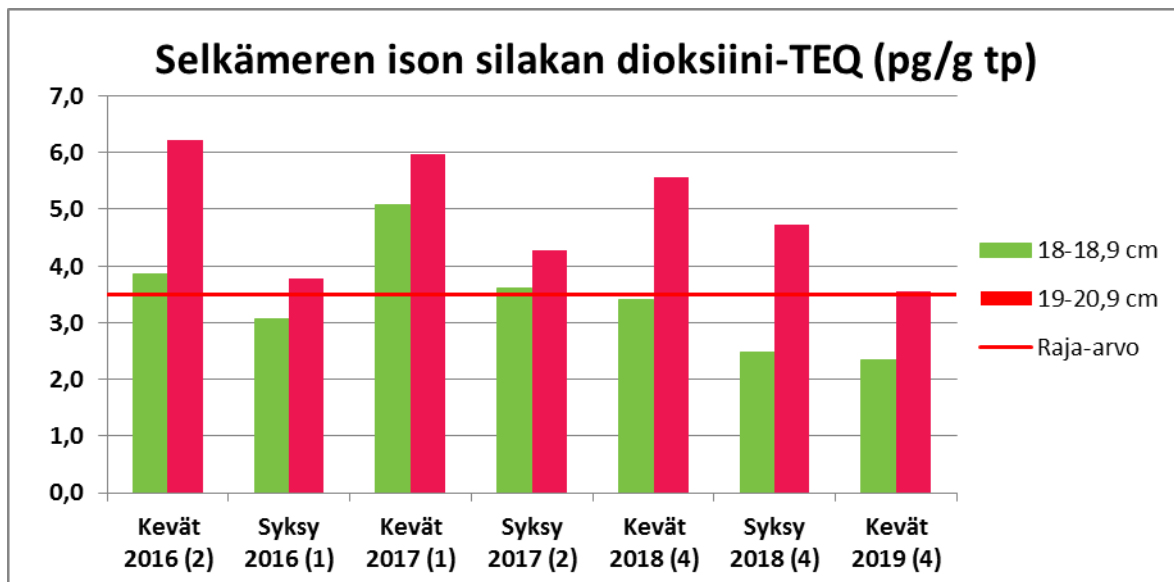
Kaikki kuvan 5 näytteet on otettu eri pyyntiruuduista ja esim. näytteillä I (18.2.2018) ja IV (4.4.2018) on yli 6 viikon ero pyyntiajankohdassa (Liite 6). Vaihtoehtoinen lähestymistapa olisi kerätä yhteen kokoomanäytteeseen enemmän silakkayksilöitä eri aikaan eri paikoista (esim. 50 kpl), mutta vakiintuvan pitoisuuden edellyttämää näytteenotto-protokollaa ei tässä hankkeessa testattu.

Lisäksi EU-kalat II ja III hankkeen tuloksista havaittiin, että samalta merialueelta samaan aikaan kerättyjen kokoomanäytteiden Ind-PCB/Diox-TEQ suhteet voivat olla huomattavan erilaisia jos näytteiden dioksiinipitoisuudet ovat hyvin pieniä (< 1 pg TEQ/g). Myös eri merialueilta samaan aikaan kerättyissä saman kokoluokan näytteissä on EU-kalat III tulosten perusteella huomattavaa vaihtelua Ind-PCB/Diox-TEQ suhteissa.

Suhdeanalyysi mahdollistaa samalta merialueelta samana vuodenaikana koottujen jonkin verran dioksiineja sisältävien silakoiden (>1 pg TEQ/g) useamman kokoomanäytteen varsin tarkan PCDD/F-pitoisuuden arvioinnin mittaamalla vain yhdestä kokoomanäytteestä PCDD/F:t ja tekemällä muista kokoomanäytteistä vain edullisemmän Ind-PCB-analyysin. Analyysissä voi soveltaa mitä hyvänsä Ind-PCB-menetelmää, mikä antaa vastaavia tuloksia kaikki dioksiinit ja PCB:t mittaavan ”perinteisen” menetelmän Ind-PCB-yhdisteiden summapitoisuuden kanssa. Menetelmä soveltuu parhaiten silakoille, joissa dioksiinipitoisuudet ovat vähintään 1-2 pg TEQ/g, eli EU kalat III ja KALAKAS -hankkeen tulosten perusteella Suomenlahdella-Saaristomerellä yli 17 cm ja Selkämerellä-Perämerellä >16 cm.

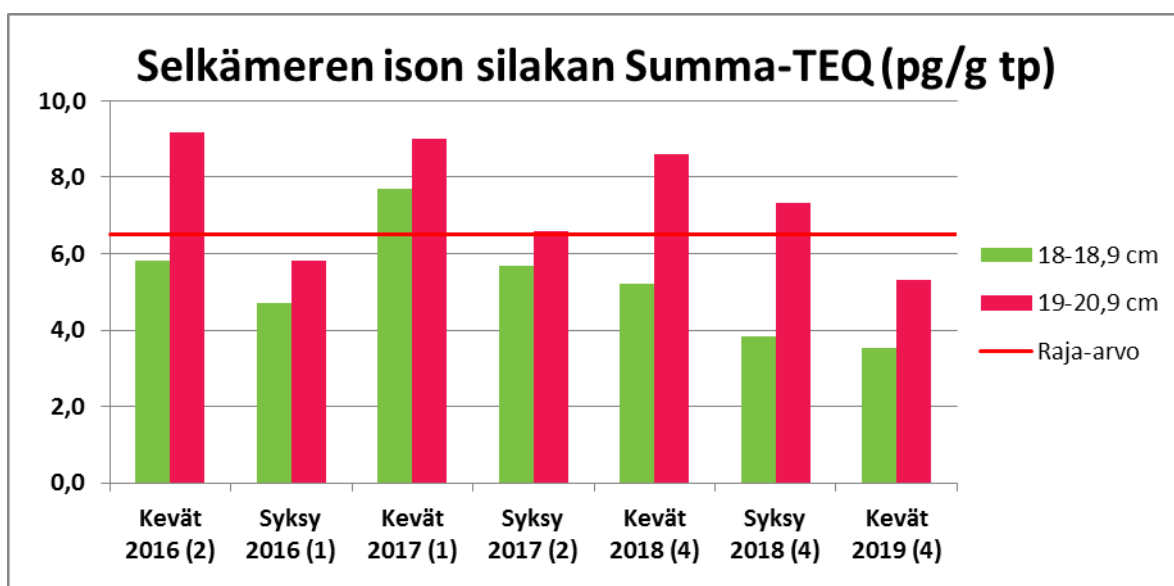
3.5. Elintarvikevalvonnan ja ympäristön tilan kustannustehokas seuranta

EU-kalat, KALAKAS ja TUKALA-hankkeiden tulosten perusteella dioksiinien pitoisuudet ovat laskeneet < 19 cm silakassa pysyvästi EU:n raja-arvon 3.5 pg TEQ/g tuntumaan tai sen alle myös Selkämerellä, missä ne ovat eri merialueista kaikkein korkeimmat (Kuva 6). Vuosien välistä vaihtelua voi edelleen esiintyä, mutta laskeva trendi on kuitenkin selvä.



Kuva 6. Dioksiini-TEQ kevät 2016 – kevät 2019 Selkämeren isokokoisessa silakassa. Pylvään korkeus on keskiarvo kokoonäytteistä, joiden lukumäärä on sulkeissa vuosiluvun jälkeen. Kukin kokoonäyte sisältää 15 silakkaa.

Dioksiinien ja PCB-yhdisteiden summapitoisuus on laskenut vielä voimakkaammin ja pitoisuudet saattavat olla lähiaikoina asettumassa myös 19-21 cm silakassa nykyisten raja-arvojen alapuolelle (kuva 7).



Kuva 7. Summa-TEQ kevät 2016 – kevät 2019 Selkämeren isokokoisessa silakassa. Pylvään korkeus on keskiarvo kokoonäytteistä, joiden lukumäärä sulkeissa vuosiluvun jälkeen. Kukin kokoonäyte sisältää 15 silakkaa.

Elintarvikkeiden dioksiini- ja PCB-yhdisteiden näytteenotossa ja analytiikassa on noudatettava asetusta (EU) N:o 2017/644, mikä silakalle tarkoittaa vähintään 10 yksilöstä koostuvia kokoonäytteitä per pyyntierä ja tässäkin hankkeessa käytettyä ”perinteistä” tai suorituskyvyltään vastaavaa analyysimenetelmää. EU-kalat III hanke suunniteltiin täyttämään asetus (EU) 589/2014 (lähes samansisältöinen asetuksen 2017/644 edeltäjä) ja

Komission Suositus (EU) 2016/688 Itämeren alueelta peräisin olevissa kaloissa ja kalastustuotteissa esiintyvien dioksiinien ja PCB-yhdisteiden seurannasta ja hallinnasta, minkä mukaan ”yhdistettyjen näytteiden tapauksessa kalojen on oltava samankokoisia ja pyydetty samalta ICES-[osa]-alueelta”. Suosituksessa 2016/688 mainittu Suomen merialueilta (ICES osa-alueilta 29-32) analysoitavien silakkanäytteiden kokonaismäärä vuonna 2016 oli 20 kpl. EU-kalat III hankkeessa kerättiin 5 merialueelta 5 eri kokoluokan (12-21 cm) kokoomanäytettä, joissa kussakin oli 15-20 yksilöä. Pienet kokoluokat valittiin ennen kaikkea aikaisempien EU-kalat hankkeiden seurannan näkökulmasta, vaikka pitoisuuksien tiedettiin olevan pieniä. Koska suosituksessa 2016/68 ja muussakin EU-lainsäädännössä olevat silakkaa koskevat riskinhallintatoimet kohdistuvat epäilyyn vaatimusten vastaisuudesta, mikä Suomen merialuilla koskee yli 17 cm silakkaa, ei laskeneiden pitoisuuksien takia voida jatkossa pitää mielekkäänä seurata miltään merialueelta < 17 cm silakkaa, minkä tiedetään olevan vaatimusten mukaista. Sama koskee myös ympäristölainsäädäntöä, minkä raja-arvot ovat samat kuin elintarvikelainsäädännössä.

EU:lla saattaa olla painetta EFSA:n riskinarvioinnin takia laskea erityisesti kalan dioksiini- ja PCB-yhdisteiden pitoisuuksien raja-arvoja, koska kala on eri elintarvikkeista tärkein yksittäinen saantilähde. Tilanne on kuitenkin näiltä osin vielä auki. Joka tapauksessa jatkossa tehtävä seuranta kannattaa keskittää eri merialueiden EU:n lainsäädännön kannalta kriittisiin kokoluokkiin ja tulosten hajonnan selvittämiseksi ottaa useampi rinnakkainen kokoomanäyte per kokoluokka. Vaikka kustannusten säästämiseksi rinnakkaisista näytteistä vain yhdestä mitattaisiin dioksiinit ja dioksiinin kaltaiset PCB-yhdisteet, ja muista vain Ind-PCB:t, kelpaisi tämän yhden näytteen tulos viralliseen valvontaan elintarvike- ja ympäristölainsäädännön puitteissa. Muita näytteitä voidaan pitää dioksiinien pitoisuuksien hajonnan varmistusnäytteinä, joiden tulokset antavat indikaation lisämittausten tarpeesta ja jatkoseurannan painopisteistä. Ind-PCB-yhdisteiden mittausta maksaa noin neljäsosan dioksiinien- ja DL-PCB-yhdisteiden analyysistä.

Elintarvike- ja ympäristöhallinnon seurantoja on mahdollista yhdistää, minkä toteuttamiseksi SYKE:n esitys dioksiini- ja PCB-yhdisteiden vuosittaisesta seurannasta avomerelle aikavälillä 2018-2022 [18] on kannatettava yllä mainituin tarkoituksenmukaisuutta ja kustannustehokkuutta lisäävin huomioin, mitkä koskevat eri merialueilta määritettäviä kokoluokkia, rinnakkaisia kokoomanäytteitä ja niistä suoritettavia määrittelyksiä perinteisellä menetelmällä ja vain Ind-PCB:t mittaavalla pikamenetelmällä.

3.6. Selkämeren kalastuksen ja Kasnäsin kalajauhotehtaan merkitys PCDD/F ja PCB -yhdisteiden poistajana

Selkämeren silakkasaalis oli vuonna 2015 ICES:n mukaan [26] noin 98000 tonnia (ICES 2016). Saaliin ikäjakauman ja ikäryhmäkohtaisen keskipainon (ICES 2016), pituus-painoaineiston (J. Pönni, julkaisematon aineisto) ja pituusluokko-kohtaisen PCDD/F pitoisuusaineiston (KALAKAS-hanke) avulla laskettiin saaliin mukana merestä poistuvan vuodessa noin 0,21 g dioksiineja ja furaaneja TEQ-yksiköissä (WHO 2005 PCDD/F TEQ). Vuoden 2015 lopussa Selkämeren silakkakannan kokonaisbiomassa oli noin 1110 tuhatta tonnia (ICES 2016). Jos oletetaan saaliin ja kalakannan PCDD/F pitoisuuksien olevan samalla tasolla, kalakantaan oli sitoutuneena noin 2,4 g dioksiineja ja furaaneja (WHO 2005 PCDD/F TEQ). Silakkakanta-arvioihin sisältyy kuitenkin huomattavaa epävarmuutta – viimeisimmässä ICES:n kanta-arviossa saatiin koko Pohjanlahden silakkakannan biomassalle arvio 606 tuhatta tonnia ja sen jälkeen kannan biomassan arvioitiin laskeneen 418 tuhanteen tonniin vuoden 2018 loppuun mennessä [27]. Mahdollisesti kanta-arvioiden laatiminen vuoden 2016 jälkeen koko Pohjanlahdelle aiempien kahden allaskohtaisen arvion sijaan on heikentänyt arvioiden laatua.

Dioksiinien ja furaanien yhteenlasketun vuotuisen ilmalaskeuman Selkämereen arvioitiin 2000-luvun alussa olleen noin 27 g TEQ-yksiköissä, josta ilmakehään takaisin laskettiin höyrystyneen noin 13 g, ja valuma-



alueelta tulevan kuorman arvioitiin olleen noin 11 g [28, 29]. Näitä aineita poistui merestä myös sedimentoitumalla ja hajoamisen kautta, mutta muilta merialueilta Selkämereen tulevat ja niille Selkämerestä kulkeutuvat PCDD/F kuormat olivat pieniä ja likimain tasapainossa [29]. Rannikon läheisiltä pohjilta vapautui enemmän dioksiineja ja furaaneja kuin sinne siirtyi merivedestä. Tämä on mahdollista, koska pohjalle on kertynyt näitä aineita silloin, kun kuormat mereen olivat nykyistä suurempia. Syvillä alueilla pohjasedimenttiin kertyi enemmän PCCD/F-kongeneereja kuin niiltä vapautui, ja kaiken kaikkiaan Selkämeren sedimenttiin arvioitiin rannikolla ja avomerellä siirtyvän vedestä noin 12 g PCDD/F (TEQ) [29].

Jos oletetaan, että ilmakehän kautta tuleva kuormitus on pysynyt vuosittain muuttumattomana 2000-luvun aikana, kalastus poisti vain noin 1,5 % ilmakehän kautta Selkämereen tulevasta kuormituksesta. Ilmeisesti kalastuksen poistama dioksiinimäärä suhteessa laskeumakuormitukseen on jonkin verran suurempi tällä hetkellä, koska ilmalaskeuman on kuitenkin arvioitu jatkuvasti pienenevän [29]. Vaikka dioksiinien ja furaanien ainetaselaskelmiin voi sisältyä varsin suurta epävarmuutta [29, 30, 31], on edellisen perusteella ilmeistä, ettei kalastuksella, eikä siten myöskään kalastustehossa tapahtuvilla muutoksilla, ole merkittävää vaikutusta PCDD/F ainetaseisiin Selkämerellä.

Pitoisuuksien lasku silakoissa ja muissa rasvaisissa kaloissa ilmeisesti johtuu mereen tulevan kuormituksen vähenemisestä kuten esim. Wiberg ym. [29] ennustivat. Toisaalta meriekosysteemi reagoi viiveellä kuormituksen vähenemiseen, koska Selkämeressä arvioitiin dioksiinien viipymäksi 11 vuotta (=residence time, aika joka kuluu meren dioksiinivarannon uusiutumiseen kertaalleen) [29]. Itämerellä vain 9 % dioksiineista ja furaaneista arvioitiin olevan vesiympäristössä, ja pintasedimentissä arvioitiin olevan siihen verrattuna kymmenkertainen määrä näitä aineita. Sedimentistä nämä aineet vapautuvat veteen ja edelleen meren ravintoverkkoon ja rikastuvat mm. silakkaan. Selkämerellä sedimentistä veteen vapautuneet aineet sekoittuvat tehokkaasti pintakerrokseen ja siirtyvät ravintoketjuihin, koska siellä ei ole pysyvää suolapitoisuuden harppauskerrosta, joka, kuten Itämeren pääaltaalla, eristäisi syvän ja pintaveden toisistaan. Siten näiden aineiden pitoisuuksien on arvioitu olevan mm. sedimentistä vapautumisen vuoksi vielä useita vuosikymmeniä melko korkeita verrattuna Itämeren muihin alueisiin [29].

PCB-yhdisteiden poistuma saaliin mukana laskettiin samalla tavalla kuin PCCD/F-yhdisteiden poistuma. PCB:n kokonaismäärä Selkämeren silakkasaaliissa oli noin 6,5 kg ja silakkakantaan oli sitoutuneena noin 73 kg. Huolimatta siitä, että PCB-poistuma saaliin mukana oli kilomääräisesti paljon suurempi kuin PCDD/F yhdisteiden, PCB-yhdisteiden osuus kokonaistoksisuudesta (PCDD/F + PCB) on samaa suuruusluokkaa kuin PCDD/F yhdisteiden johtuen huomattavasti pienemmistä TEF-kertoimista kuin PCDD/F-yhdisteillä. PCB-yhdisteiden yhteenlaskettu määrä oli vuotuisessa saaliissa noin 0,13 g WHO 2005 PCDD/F TEQ ja koko Selkämeren silakkakannassa noin 1,5 g.

Selkämereen arvioitiin tulevan ilmalaskeumasta vuodessa noin 116 kg eliöille myrkyllisiksi todettuja PCB-kongeneereja [28]. Suurimman osan arvioitiin siirtyvän höyrystymällä takaisin ilmakehään, joten nettolaskeuma mereen oli noin 4 kg. Helpoimmin höyrystyvät vähän klooriatomeja sisältävät kongeneerit, joten vedestä ilmaan siirtyvien kongeneerien suhteelliset runsaudet ovat erilaiset kuin mereen tulevan laskeuman. Maalta valumavesien mukana mereen tulee noin 3 kg. Aineet poistuvat vesiympäristöstä paitsi höyrystymällä, myös sedimentoitumalla ja hajoamisen kautta. Merialueiden väliset PCB-virrat vesimassojen liikkeiden mukana ovat melko pienet ja erisuuntaiset vuot ovat likimain tasapainossa [29].

ICES:n kalakanta-arviomateriaalin [26] ja KALAKAS -hankkeen pitoisuusaineiston perusteella arvioituna silakkasaaliin mukana poistuu likimain sama määrä kuin mereen tulee PCB:tä (nettokuormitus ilmakehästä ja valuma-alueelta), mutta Armitage ym. [28] ja Wiberg ym. [29] eivät kuitenkaan ottaneet kalansaaliin mukana



taphtuvaa poistoa huomioon taselaskuissaan. Kun otetaan saaliin mukana poistuva määrä huomioon, täytyy joko mereen tulevassa määrässä olla em. tutkimuksissa aliarvio, tai jokin tai jotkin poistomekanismit on siinä yliarvioitu.

Näiden tasetarkasteluiden perusteella näyttää ilmeiseltä, että Selkämerellä kalastus on huomattava PCB-yhdisteiden poistaja. Aikaisemmin MacKenzie ym. [30] arvioivat, että Itämeren pääaltaalla ja Suomenlahdella kalastuksella on huomattava merkitys PCB-yhdisteiden taseessa, mutta merkitys näyttää olevan Selkämerellä selvästi suurempi. Tässä Selkämeritarkastelussa ei otettu huomioon muiden saalislajien mukana poistuvaa PCB määrää, mutta se on ilmeisesti huomattavasti pienempi kuin silakkasaaliin mukana poistuva määrä, sillä Selkämeren kokonaissaaliista silakan osuus on noin 95 paino-%.

Wiberg ym. [29] arvioivat PCB:n viipymän olevan noin 4 vuotta Selkämeressä, mutta otettaessa huomioon kalastuksen vaikutus, ko. aika voi olla lyhyempi ja pitoisuudet meressä ja eliöstössä reagoivat melko nopeasti PCB-kuormituksen muutoksiin. Varsinkin matalilta rannikkoalueilta, joille on aikaisempina vuosikymmeninä sedimentoitunut dioksiineja ja PCB-yhdisteitä, vapautuu näitä aineita veteen ja pitoisuudet pohjanläheisessä vedessä korreloivat samalta alueelta analysoitujen ahventen pitoisuuksien kanssa [32]. Matalilta alueilta vapautuvia dioksiineja ja PCB-yhdisteitä kulkeutuu syville alueille, joten syvillä pohjilla pitoisuudet seuraavat noin 15 vuoden viiveellä matalien alueiden konsentraatioita [33]. Dioksiinien ja furaanien puoliintumisajat ovat samaa luokkaa kuin PCB-yhdisteiden: 14 ± 5 vuotta rannikon ja 29 ± 15 vuotta avomeren sedimenteissä [32 - 34]. EU-kalat I-III, KALAKAS- ja TUKALA-hankkeissa analysoiduissa Selkämeren kevätsilakoissa Ind-PCB/Diox-TEQ suhteet eivät merkittävästi muuttuneet vuosien 2002 – 2019 välillä, joten edellä kuvattujen viipymä- ja taselaskujen perusteella ei voida tehdä lopullista johtopäätöstä dioksiini- ja PCB-yhdisteiden pitoisuuksien suhteellisista muutoksista kalastuksen seurauksena.

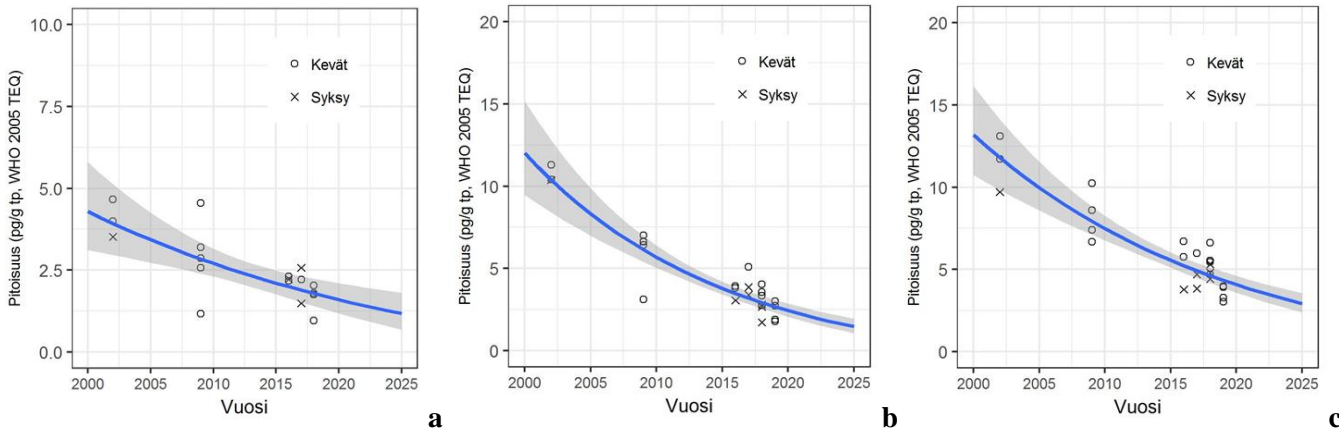
Dioksiinien ja PCB:n poistaminen kalajauhasta pienentää kuitenkin rehujen kautta ravinnontuotantoa varten kasvatettujen tuotantoeläinten saamaa POP-yhdisteiden eli pysyvien orgaanisten ympäristömyrkköjen kuormaa ja niiden välityksellä pitoisuuksia ihmisten ravinnossa sekä määriä, jotka palaavat luonnon kiertokulkuun. Kalastus vaikuttaa myös muilla tavoin POP-aineiden pitoisuuksiin kaloissa, sillä se poistaa erityisesti vanhimpiin ikäryhmiin kuuluvia kaloja, joissa on korkeimmat pitoisuudet ja varsin todennäköisesti lisää myös kasvulaimenemista kalojen kudoksissa [35]. Kasvulaimeneminen perustuu siihen, että kalastus pienentää kalakantaa, jolloin ravintokilpailu vähenee ja kalayksilön kasvu nopeutuu. Siten ravinnonkäytön hyötysuhde (ekologinen tehokkuus) kasvaa ja ravinnonkulutus suhteessa lisäkasvuun pienenee. Kalayksilö, joka on käyttänyt tietyn painon saavuttaessaan vähän ravintoa, on myös saanut pienen määrän elimistöön kerääntyviä haitallisia aineita. Siten kalakannan jatkuvan tuoton huomioon ottavan kalastuksen voidaan katsoa vähentävän POP-aineista aiheutuvia riskejä.

Selkämeren kalastuksella arvioidaan olevan vain vähäinen vaikutus dioksiinien, mutta huomattava vaikutus PCB-yhdisteiden poistumaan. Selkämerelläkin silakan dioksiinipitoisuudet laskevat, mutta niiden on kuitenkin arvioitu olevan vielä pitkään korkeampia kuin muilla Itämeren alueilla. Kokonaisuutena kalakannan jatkuvan tuoton huomioon ottava kalastus vähentää POP-aineista ihmiselle aiheutuvia riskejä.

3.7. Dioksiini- ja PCB-yhdisteiden pitoisuuksien lasku Selkämerellä ja EU:n dioksiinipolitiikka

EU-kalat I-III, KALAKAS ja TUKALA-hankkeen tulosten perusteella luotiin regressiomalli, perustuen eri merialueiden analyysituloksiin vuosilta 2002-2019 ja laadittiin graafinen esitys pitoisuuksien kehittymisestä. Kuvassa 8 on malli dioksiini-TEQ:n laskulle Selkämeren silakalle, jolle

on eri hankkeiden tuloksena kertynyt eniten datapisteitä erikokoiselle kalalle, ja jossa ennusteen virherajat ovat siksi pienimmät.



Kuva 8. EU-kalat I-III, KALAKAS ja TUKALA-hankkeen tuloksista laskettu malli dioksiini-TEQ:n muuttumisesta Selkämeren a) 16-17.9 cm, b) 18-18.9 cm ja c) 19-20,9 cm silakassa. Harmaa alue edustaa kokoomanäytteiden perusteella mallinnetun keskiarvon 95 %:n luottamusväliä.

Mallien 95 % luottamusrajat huomioiden dioksiini-TEQ < 18 cm silakassa on tällä hetkellä ≤ 2 pg/g tp, 18-19,9 cm silakassa ≤ 3 pg/g tp ja 19-20,9 cm silakassa ≤ 5 pg/g tp. Jos pitoisuuksien lasku jatkuu mallin mukaisena, kokoluokan 19-20,9 cm dioksiini-TEQ alittaa nykyiset raja-arvot noin 2022.

Myös Summa-TEQ:lle laadittiin vastaavat mallit. Vaikka 19-20,9 cm silakassa keväällä 2019 kaikki Summa-TEQ tulokset olivat alle EU:n raja-arvon 6,5 pg/g tp (Liite 6), niin aikaisempien korkeiden tulosten takia malli ennustaa Summa-TEQ:n alittavan nykyisen raja-arvon 6,5 pg/g tp noin 2021. Seurannan jatkaminen on perusteltua pitoisuuksien laskun ja mallin toimivuuden varmistamiseksi.

PCB-126:n osuus Summa-TEQ:sta laskettiin EU-kalat I-III, KALAKAS ja TUKALA aineistosta. Se on ollut vuodesta 2000 lähtien jatkuvasti 25-30 %. Tämä tarkoittaa siis sitä, että hypoteettinen päätös laskea PCB-126:n TEF-arvoa 80 % laskisi silakan keskimääräistä Summa-TEQ pitoisuutta 20-24 %.

3.8. Kasnäsin tehdas tutkijoiden ja kalastajien välisen kumppanuuden solmukohtana

Tutkimuksen ja kalastajien välisen kumppanuuden kehittämisen ja kalastuksen jatkuvuuden turvaamisen vaikuttavuustavoitteet ja KALAKAS- ja TUKALA-hankkeiden vastaukset niihin olivat:

1. Tutkimuksen ja kalastajien välisten verkostojen muodostuminen, mikä tukee alan yritystoiminnan kehittymistä ja alan jatkuvaa kehitystyötä sekä parantaa tutkimuksen vaikuttavuutta ja kustannustehokkuutta.

KALAKAS-hankeessa Ab Salmonfarm Oy tuli mukaan THL:n, Luken, SYKE:n ja Eviran muodostamaan verkostoon, joka on vastannut EU:n elintarvikkeiden dioksiini- ja PCB-yhdisteitä koskevaan lainsäädäntöön vaikuttamisesta ja sen noudattamisesta Suomessa. Tehtaan lähtökohta tutkimusyhteistyöhön on aina sen liiketaloudellinen kannattavuus lyhyellä tai pitkällä tähtäimellä. Dioksiini- ja PCB-yhdisteiden pitoisuuksien tehtaan lopputuotteissa on oltava alle EU:n asettamien enimmäismäärien, missä tehtaalle tulevan raakakalan pitoisuudet ovat keskeisessä roolissa. KALAKAS-hankkeen tulosten perusteella

tehtaalla suoritetun näytteenoton tulokset vastaavat hyvin perinteisen EU-TIKE-näytteenoton tuloksia, eli hyvin dokumentoituna eri näytteenottotavoilla saadut tulokset ovat ristiin käyttökelpoisia.

2. *Uusien, yksityisen ja julkisen sektorin kumppanuuteen perustuvien toimintamallien ... kehittäminen ja käyttöönotto erityisesti ... vesiympäristön tilaan liittyvän tiedon keruussa ... parantaa ... tiedonkeruujärjestelmien kustannustehokkuutta ...*

Hankkeen puitteissa luotiin yhteydet Luken 4S-näytteenoton koordinaation ja Kasnäsin tehtaan henkilökunnan välille. Kasnäsiin saaliinsa purkavat alukset ovat mukana 4S-näytteenoton piirissä, mikä osaltaan luo uusia yksityisen ja julkisen sektorin välisiä kumppanuuksia.

3. *Parantaa kalastuksen ... taloudellista kannattavuutta ja luoda edellytyksiä kaupallisen kalastuksen yritystoiminnan jatkuvuudelle ...*

KALAKAS-hankkeen tuloksia voidaan yleistää sanomalla, että kalastuksen ja kalanjalostuksen kannalta olisi hyödyllistä, jos yksityisten ja julkisten tahojen suorittamat ympäristömyrkköjen pitoisuusmittaukset olisivat mahdollisimman nopeasti avoimesti kaikkien saatavilla. TUKALA-hankkeen 1. toimenpide pyrkii vastaamaan tähän tarpeeseen, missä tiedot eri kontaminanttien pitoisuuksista kootaan helppokäyttöiseen ja avoimeen tietokantaan.

THL on jäsen EU:n halogenoitujen POP-yhdisteiden laboratorioverkostossa [20], missä on meneillään selvitystyö uusien halogenoitujen POP-yhdisteiden analytiikassa käytettävistä määrittämenetelmistä ja esiintymisestä elintarvikkeista. On mahdollista, että tämän selvitystyön tuloksena EU:n lainsäädännön piiriin tulee uusia halogenoituja POP-yhdisteitä, joille asetetaan suurimmat sallitut pitoisuudet kalassa, kalatuotteissa ja kalapohjaisissa rehuissa. KALAKAS-hankkeessa tehtaan ja tutkijoiden välille muodostuneet verkostot mahdollistavat tulevan lainsäädännön ennakoinnin riittävän pitkällä varoajalla, jotta raakakalan pitoisuudet voidaan selvittää ja tehtaan lopputuotteiden puhdistusprosessia tarvittaessa kehittää uusien haitta-aineiden poistamiseksi.

3.9. Hankkeen tuloksista tiedottaminen

KALAKAS-hankkeen tilasta ja tuloksista kerrottiin yksityiskohtaisesti ohjausryhmän kokouksessa 12.2.2018. Tutkimussuunnitelman mukaan KALAKAS- ja TUKALA-hankkeiden etenemisestä ja tuloksista on myös tiedotettu TUKALA-hankkeen ohjausryhmää sen kokouksissa kesäkuussa 2018 ja tammikuussa 2019, ja tiedotetaan viimeisen kerran elokuussa 2019.

Laajin KALAKAS- ja TUKALA-hankkeiden tavoitteiden ja tulosten esittelyfoorumi ovat olleet Kalatalouden innovaatiopäivät marraskuussa 2017 Tampereella ja marraskuussa 2018 Helsingissä. Innovaatiopäivät kokosivat laajasti kaupallisen kalastuksen kanssa tekemisissä olevia kansallisia toimijoita kalastajista ministeriöiden edustajiin asti.

THL:n ulkoisilla kotisivuilla on KALAKAS- ja TUKALA-hankkeiden omat hankesivut. Lisäksi hankkeista on tehty haastattelut Luken uutiskirjeeseen ja Kehittyvä Elintarvike -lehteen marraskuussa 2018. Tärkeimmät dioksiini- ja PCB-analyysien tulokset julkaistaan vertaisarvioituissa kansainvälisissä julkaisusarjoissa.

Hankkeen ohjausryhmän kokouksessa 12.2.2018 (Liite 4) päätettiin lykätä hankkeen tulosten yksityiskohtaista tiedottamista toistaiseksi, koska EU-kalat III hankkeen tuloksista tehtiin tiedote keväällä 2018. Lisäksi silakan pyytäjien tilannetta ei haluttu vaikeuttaa mainitsemalla heidän tuotteensa sisältämistä dioksiineista. Lopullinen tiedote hankkeen tuloksista julkaistiin yhtä aikaa tämän loppuraportin kanssa ja se vastaa sisällöltään tämän raportin alussa olevaa tiivistelmää.



3.10. Hankkeen taloudellinen toteuma

Hankkeen taloudellinen toteuma kululajeittain on esitetty taulukossa 4. THL:n kulut olivat lähellä budjetoitua, Luken ja Salmonfarmin kulut alittuivat, SYKE:llä ylittyivät budjetoidun. Kulujen ylitys SYKE:llä on perusteltavissa sillä, että Selkämeren dioksiini- ja PCB-pitoisuuksien mallinnus otettiin hankkeeseen osittain ylimääräisenä TUKALA-hanketta palvelevana työnä. Kokonaiskulut olivat kuitenkin huomattavasti alle budjetoidun.



Taulukko 4. Hankkeen taloudellinen toteuma

HANKKEEN KUSTANNUKSET AJALTA 01.03.2017 - 31.05.2019

	THL	SYKE	LUKE	Salmonfarm	Konsortion toteuma yhteensä	JÄLJELLÄ
BUDJETTI	Toteuma 010317 - 310519	Toteuma 010317 - 310519	Toteuma 010317 - 310519	Toteuma 010317 - 310519		
PALKKAKUSTANNUKSET	85 234,82 €	35 156,66 €	26 293,58 €	3 818,09 €	9 444,95 €	10 521,55 €
HENKILÖSIVUKULUT	5 869,17 €	6 140,19 €	741,86 €	680,79 €	0,00 €	-1 693,67 €
YLEISKUSTANNUKSET 15% palkkakuluista	13 665,20 €	6 696,56 €	4 055,31 €	674,83 €	1 416,74 €	821,75 €
KOTIMAAN MATKAKULUT	3 000,00 €	154,45 €	24,77 €	0,00 €	0,00 €	2 820,78 €
OSTOPALVELUT	0,00 €	192,37 €	0,00 €	0,00 €	67,84 €	-260,21 €
Koneet laitteet ja tarvikkeet	2 200,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	756,45 €	1 443,55 €
Kustannukset yhteensä	109 969,19 €	48 340,23 €	31 115,52 €	5 173,71 €	11 685,98 €	13 653,74 €
ALV 10%	0,00 €	8,25 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	-8,25 €
ALV 14%	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
ALV 24%	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
ARVONLISÄVERO YHTEENSÄ	0,00 €	8,25 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	-8,25 €
MAHDOLLISET TULOT	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
YHTEENSÄ	109 969,19 €	48 348,48 €	31 115,52 €	5 173,71 €	11 685,98 €	13 645,49 €
Budjetti	49 268,19 €	26 813,00 €	16 725,00 €	17 163,00 €	109 969,19 €	
Jäljellä	919,71 €	-4 302,52 €	11 551,29 €	5 477,02 €	13 645,49 €	



4. TULOSTEN VAIKUTTAVUUS

4.1. Tulosten merkitys ja hyödynnettävyys

Hankkeen tärkeimpien tulosten merkitys ja hyödynnettävyys on koottu seuraaviin 8 kohtaan:

1. Hankkeessa luotiin uusia yhteyksiä THL:n, Luken ja SYKE:n tutkijoiden sekä Kasnäsin tehtaan johdon välille. Yhteydet lainsäädäntöprosessien tieteellisessä taustatyössä olevien tutkijoiden ja tehtaan välillä auttavat tehdasta ja kaupallista kalastusta varautumaan ennakoivasti EU:n lainsäädännön muutoksiin.
2. Sekä perinteinen Luken EU-TIKE näytteenotto että Kasnäsin tehtaalla suoritettu näytteenotto antavat vertailukelpoisia tuloksia samalta merialueilta kerätyistä näytteistä. Yksittäisistä kokoomanäytteistä suoritetuissa mittauksissa on kuitenkin suurta kalakannan sisäiseen pitoisuusvaihteluun liittyvää hajontaa, jota 15 yksilön kokoomanäytteet eivät riitä tasoittamaan.
3. Dioksiini- ja PCB-yhdisteiden kohdalla kokoomanäytteiden välistä vaihtelua voidaan kustannustehokkaasti kompensoida analysoimalla vain yhdestä saman merialueen näytteestä dioksiini- ja PCB-yhdisteet sekä esim. 1-2 muusta kokoomanäytteestä Ind-PCB-yhdisteet. Ind-PCB/Diox-TEQ –suhdeanalyysillä voidaan estimoida näiden näytteiden Diox-TEQ.
4. Hankkeessa kehitettiin pikamenetelmä, mikä soveltuu Ind-PCB-, PBDE, sekä tiettyjen OCP- ja NBFR-yhdisteiden määrittämiseen silakasta. Näytteen esikäsittely on yksinkertainen, soveltuu kuivalle ja kostealle näytteelle ja on helposti kopioitavissa eri laboratorioihin.
5. Elintarvike- ja ympäristöhallinnon seurantoja on mahdollista yhdistää toteuttamalla SYKE:n esitystä dioksiini- ja PCB-yhdisteiden vuosittaisesta seurannasta avomerelle vuoteen 2022 asti kuitenkin siten, että keskitetään alueille ja kokoluokkiin, joissa pitoisuudet ovat lähellä EU:n raja-arvoja.
6. Kirjallisuuskatsauksen perusteella Selkämeren kalastuksella on vain vähäinen vaikutus dioksiinien, mutta huomattava vaikutus PCB-yhdisteiden poistumaan Itämeren ekosysteemistä. Ind-PCB/Diox-TEQ –suhteessa ei kuitenkaan havaittu muutoksia vuosien 2002-2019 välillä. Dioksiinipitoisuudet vesiekosysteemissä laskevat koko Itämeren alueella, mutta Selkämerellä niiden on kuitenkin arvioitu olevan vielä pitkään korkeampia kuin muilla alueilla. Muita alueita korkeampien pitoisuuksien ja kaupallisen kalastuksen merkittävyyden takia Selkämeri on tärkeä pitoisuusseurannan painopistealue.
7. Alle 19 cm silakka alittaa EU:n nykyiset dioksiini-TEQ ja Summa-TEQ raja-arvot myös Selkämerellä. Näitä tuloksia voi käyttää vientikelpoisen silakan pituuden nostoon tähtäävissä neuvotteluissa komission kanssa.
8. EU-kalat I-III, KALAKAS- ja TUKALA-hankkeiden tulosten perusteella luotiin malli, jonka mukaan kokoluokassa 19-20,9 cm silakan dioksiini-TEQ alittaa EU:n nykyisen raja-arvon noin 2022 ja Summa-TEQ noin 2021. Mallia voidaan muokata, jos EU:n raja-arvot tai yksittäisten dioksiini- tai PCB -yhdisteiden TEF-arvot muuttuvat.

4.2. Tulosten luotettavuus ja mahdolliset virhelähteet

Pitoisuusmittauksiin sisältyy aina epävarmuutta. Hankkeen tulosten perusteella kävi ilmi, että EU:n ohjeistuksenkin mukaisessa näytteenotossa voi olla mittauksien epävarmuutta suurempaa populaation sisäistä pitoisuusvaihtelua samaan aikaan samalta merialueelta otettujen 15 yksilön kokoomanäytteiden välillä.

4.3. Tulokset suhteessa alkuperäisiin tavoitteisiin

Hanke oli tutkijoille ja tehtaalle oppimiskokemus, joka auttoi arvioimaan omaa toimintaa toisen osapuolen näkökulmasta. Tehtaan toiminnan luonteeseen kuuluu tietty ennakoimattomuus, eivätkä tutkijat osanneet

riittävästi huomioida sitä laatiessaan varsin optimistista näytteenottosuunnitelmaa. Toisaalta hankkeen aikana myös tehtaalla tarkasteltiin sinne tulevan saaliin kokojakaumaa tutkimuksen näkökulmasta, jolloin havaittiin, että se ei käytännössä vastaa tutkijoiden suunnitelmien lähtökohtana olevia Luken saalistietojen kokojakaumia. Tehtaalle tulevan kalan kokojakaumien erilaisuus suhteessa Luken saalisiin näytteenoton antamiin tuloksiin ja KALAKAS-hankkeen kanssa yhtä aikaa alkanut TUKALA-hanke antoivat aiheutta muuttoa ja osittain laajentaa alkuperäistä näytteenottosuunnitelmaa osapuolten hyvässä yhteisymmärryksessä kappaleessa 3.1.1. kuvatulla tavalla. Alkuperäinen tavoite, eli Luken seuraamissa saaliinpurkusatamisissa ja tehtaalla tehdyn näytteenoton vastaavuus kokoluokittaisessa pitoisuusaineistoissa pystyttiin kuitenkin osoittamaan.

Konkreettiset yhteydet kalastajiin ja heidän kanssaan toteutettavaan tiedonkeruuseen jäivät hankkeessa toivottua ohuemmiksi. Toisaalta eri toimijoiden välinen verkottumisesta otettiin suuria edistysaskelia ja Luken suorittama 4S-näytteenotto yhdistää jatkossa hankkeessa mukana olleita tutkijoita, tehdasta ja kalastajia.

Hankkeen aikana marraskuussa 2018 EFSA:n julkaisi dioksiinien riskinarvioinnin. Se voi aiheuttaa merkittäviä muutoksia toimintaympäristössä luomalla paineita laskea dioksiinien raja-arvoja. Toisaalta nykyisten raja-arvojen puitteissa on olemassa perusteet nostaa vientikelpoisen silakan rajapituutta. Näiden vastakkaisten tekijöiden vaikutus silakan vientimahdollisuuksiin ei tällä hetkellä ole tiedossa.

4.4. Tulosten jalkauttaminen ja suositukset jatkotoimista

Jatkotoimina suositellaan:

- Käytetään mitattua ja mallinnettua dioksiini- ja PCB-pitoisuuksien pienentymistä komission kanssa aikanaan käytävissä neuvotteluissa silakan vientimahdollisuuksien laajentamiseksi/säilyttämiseksi.
- Tehdään analyysi silakan riittävydestä siinä tapauksessa, että silakan ja silakkajalosteiden vientimahdollisuudet lisääntyvät laskevien dioksiini- ja PCB-pitoisuuksien myötä ottaen huomioon muutokset silakan runsaudessa.
- Tutkitaan kuinka paljon kalastuksen painottumisella eri vuodenaikoihin voitaisiin vaikuttaa saaliiden haitallisten aineiden pitoisuusmuutoksiin
- Arvioidaan jatkuuko viimeisimpinä vuosien havaittu entistä jyrkempi pitoisuuksien aleneminen edelleen vai onko kyse poikkeuksesta pitkäaikaiseen trendiin.
- SYKE:n esityksen mukaista dioksiini- ja PCB-yhdisteiden seuranta jatketaan ensivaiheessa vuoteen 2022 huomioiden raja-arvojen kannalta kriittiset kokoluokat eri merialueilla ja pitoisuuksien luonnollinen hajonta.
- Tehdään analyysi mahdollisuuksista kustannustehokkaan pikamenetelmän laajempaan käyttöönottoon kalojen dioksiini- ja PCB-yhdisteiden pitoisuusseurannassa, kun kohteena ovat muut merialueet ja muut lajit.
- Kehitetään tiedotusta liittyen Itämeren ja sen kaloja koskeviin positiivisiin uutisiin, esimerkiksi silakan ja kilohailin haitta-ainepitoisuuksien merkittävään alenemiseen.
- Rakennetaan TUKALA-hankkeen toimenpiteen 1. mukainen avoin kalojen kontaminanttietokanta, johon julkiset ja yksityiset toimijat voivat syöttää laatuvarmistetut mittaustuloksensa sekä tuottaa sen avulla tuloksia pitoisuuksien seurantaan ja ennusteisiin sekä kalan ja kalatuotteiden myynnin edistämiseen.
- Kehitetään kalastuksesta ja meren tilan seurannasta tulevan tiedon kulkua ja soveltamista haitallisten aineiden pitoisuusseurantoihin (esim. muutokset kalojen kunnossa ja elinalueissa, kalastuksen tehokkuudessa ja valikoivuudessa, ravintoverkon toiminnassa ja meren hydrografiassa vaikuttavat haitallisten aineiden kertymiseen kaloihin).



- Jatketaan ja kehitetään tutkijoiden, hallinnon ja kalatalousalan välistä vuoropuhelua, mistä kalatalouden innovaatio-ohjelma ja innovaatiopäivät ovat olleet toimiva esimerkki.

LIITTEET

- Liite 1: TUKALA-hankkeen työpaketin 2 toimintasuunnitelma
 Liite 2: KALAKAS-hankkeen tutkimussuunnitelma
 Liite 3: KALAKAS näytteenottosuunnitelma
 Liite 4: KALAKAS Pöytäkirja seurantaryhmän kokouksesta - Turku 12.2.2018
 Liite 5: KALAKAS toteutunut näytteenotto ja tulokset Kasnäsin tehtaalla
 Liite 6: TUKALA Luken suorittama näytteenotto ja tulokset

LYHENTEET

- beta-HCH = beta- heksakloorisykloheksaani
 BFR:t = bromatut palonestoaineet
 BTBPE = 1,2-Bis(2,4,6-tribromifenoksi)etaani
 CP:t = klooriparaffiinit
 Dioksiinit = Polyklooratut dibentso-p-dioksiinit
 Dioksiini-TEQ = dioksiiniyhdisteiden toksisuudella painotettu summapitoisuus
 DL-PCB:t = dioksiinin kaltaiset PCB-yhdisteet
 EFSA = Euroopan elintarviketurvallisuusviranomainen
 EMKR = Euroopan Meri- ja Kalatalousrahasto
 Furaanit = Polyklooratut dibentsofuraanit
 HBB = heksabromibentseeni
 HCB = heksaklooribentseeni
 ICES = International Council for the Exploration of the Sea
 Ind-PCB:t = Indikaattori-PCB-yhdisteet
 Kongeneeri = yksittäinen dioksiini tai PCB-yhdiste (esim. 2,3,7,8-TCDD tai PCB-126)
 OCP:t = organoklooripestisidit
 PBB = pentabromibentseeni
 PBDE:t = polybromatut difenyylietterit
 PBEB = pentabromietyylibentseeni
 PCB:t = Polyklooratut bifenyylit
 PeCB = pentaklooribentseeni
 PFAS = perfluoratut alkyylilyhdisteet
 POP:t = pysyvät orgaaniset ympäristömyrkyt
 Summa-TEQ = dioksiini- ja PCB-yhdisteiden toksisuudella painotettu summapitoisuus
 TEF = Toxic Equivalency Factor
 TEQ = Toxic Equivalency

KIRJALLISUUSVIITTEET

1. Van den Berg M, Birnbaum LS, Denison M, De Vito M, Farland W, Feeley M, Fiedler H, Hakansson H, Hanberg A, Haws L et al: The 2005 World Health Organization reevaluation of human and Mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds. *Toxicological Sciences* 2006, 93(2):223-241.

2. Euroopan Komissio: KOMISSION ASETUS (EU) N:o 1259/2011, annettu 2 päivänä joulukuuta 2011, asetuksen (EY) N:o 1881/2006 muuttamisesta elintarvikkeissa olevien dioksiinien, dioksiinien kaltaisten PCB-yhdisteiden ja muiden kuin dioksiinien kaltaisten PCB-yhdisteiden enimmäismäärien osalta. Euroopan unionin virallinen lehti L 271/48 2011, L320/18.
3. Kiviranta H, Ovaskainen M-L, Vartiainen T: Market basket study on dietary intake of PCDD/Fs, PCBs, and PBDEs in Finland. *Environment International* 2004, 30(7):923-932.
4. Hallikainen A, Jestoi M, Kekki T, Koivisto P, Kostamo P, P M, Rannikko R, Suomi J, Pohjanvirta R, Hietaniemi V, Rajakangas L, Kankaanpää H, Kurttio P, Turtiainen T, Airaksinen R, Kiviranta H, Komulainen H, Rantakokko P, Viluksela M, Laakso J, Nuotio K, Siivinen K (2013). Elintarvikkeiden ja talousveden kemialliset vaarat. Uudistettu painos. *Eviran julkaisuja* 2/2013.
5. SCF (Scientific Committee on Food), 2001. Opinion on the risk assessment of dioxins and dioxinlike PCB in food (update based on the new scientific information available since the adoption of the SCF opinion of 22 November 2000) (adopted by the SCF on 30 May 2001). 29 pp.
6. Euroopan elintarviketurvallisuusviranomainen (EFSA), 2018. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/5333>
7. Komission asetus (EY) N:o 1881/2006, annettu 19 päivänä joulukuuta 2006, tiettyjen elintarvikkeissa olevien vierasaineiden enimmäismäärien vahvistamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti 2006, L 364:5-24.
8. Komission suositus (EU) 2016/688, annettu 2 päivänä toukokuuta 2016, Itämeren alueelta peräisin olevissa kaloissa ja kalastustuotteissa esiintyvien dioksiinien ja PCB-yhdisteiden seurannasta ja hallinnasta. Euroopan unionin virallinen lehti 2016, L 118:16-23.
9. 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 2007, L 88:29-38.
10. Komission asetus (EU) 2017/644, annettu 5 päivänä huhtikuuta 2017, 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 589/2014 kumoamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti 2017, L 92:9-34.
11. 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. Muutokset kotimaisen luonnonkalan ympäristömyrkkypitoisuuksissa (EU-kalat III). Valtioneuvoston selvitys ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 51/2018. Valtioneuvoston kanslia, 2018.
12. Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 1299/2004. Eduskunta, Helsinki 2004.
13. Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista 1022/2006. Valtioneuvosto, Helsinki 2006.
14. Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta 1308/2015. Valtioneuvosto, Helsinki 2015.
15. Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annetun valtioneuvoston asetuksen liitteen 1 muuttamisesta 1090/2016. Valtioneuvosto, Helsinki 2016.
16. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY, annettu 23 lokakuuta 2000, yhteisön vesipolitiikan puitteista.
17. Korpinen S, Laamanen M, Suomela J, Paavilainen P, Lahtinen T ja Ekeboom J (toim.). Suomen meriympäristön tila 2018. Suomen ympäristökeskus, Helsinki 2019.
18. Siimes K, Vähä E, Junttila V, Lehtonen KK, Mannio J. Haitalliset aineet Suomen vesissä. Tilanne ja seurannan suuntaviivat. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 8/2019.

19. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 508/2014, annettu 15 päivänä toukokuuta 2014, Euroopan meri- ja kalatalousrahastosta ja neuvoston asetusten (EY) N:o 2328/2003, (EY) N:o 861/2006, (EY) N:o 1198/2006 ja (EY) N:o 791/2007 sekä Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) N:o 1255/2011 kumoamisesta.
20. Komission asetus (EU) 2018/192, annettu 8 päivänä helmikuuta 2018, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 882/2004 liitteen VII muuttamisesta siltä osin kuin on kyse rehuissa ja elintarvikkeissa olevia vierasaineita käsittelevistä EU:n vertailulaboratorioista. Euroopan unionin virallinen lehti L 36:15-17.
21. Komission asetus (EU) 2017/771, annettu 3 päivänä toukokuuta 2017, asetuksen (EY) N:o 152/2009 muuttamisesta dioksiinien ja polykloorattujen bifenyyliden pitoisuuksien määrittämiseen käytettävien menetelmien osalta. Euroopan unionin virallinen lehti 2017, L 115:22-42.
22. Komission asetus (EU) N:o 277/2012, annettu 28 päivänä maaliskuuta 2012, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2002/32/EY liitteiden I ja II muuttamisesta siltä osin kuin on kyse dioksiinien ja polykloorattujen bifenyyliden enimmäispitoisuuksista ja toimintarajoista. Euroopan unionin virallinen lehti 2012, L 91:1-7.
23. Setälä J, Kankainen M, Vielma J, Niukkanen J, Pitkämäki A, Saario M, Ahvenharju S, Hillgren A, Tommila P: Itämerirehvia kotimaisista kalavirroista. Luonnonvarakeskus, Helsinki 2015.
24. Koponen J, Rantakokko P, Airaksinen R, Kiviranta H: Determination of selected perfluorinated alkyl acids and persistent organic pollutants from a small volume human serum sample relevant for epidemiological studies. *Journal of Chromatography A* 2013, 1309:48-55.
25. Rantakokko P, Kumar E, Braber J, Kiviranta H: Concentrations of brominated and phosphorous flame retardants in Finnish house dust and children's exposure through various routes indoors. *Chemosphere* 2019, 223:99-107
26. ICES 2016. Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). ICES Advisory Committee. ICES CM 2016/ACOM:11. REF. ACOM. International Council for the Exploration of the Sea. 687 s.
27. ICES. 2019. Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). ICES Scientific Reports. 1:20. 653 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.5256>
28. Armitage JM, McLachlan MS, Wiberg K, Jonsson P. A model assessment of polychlorinated dibenzo-p-dioxin and dibenzofuran sources and fate in the Baltic Sea. *Science of the Total Environment* 2009, 407:3784–3792
29. Wiberg K. ym. Sources, transport, reservoirs and fate of dioxins, PCBs and HCB in the Baltic Sea environment. Swedish Environmental Protection Agency, 2009. Report 5912. 143 s.
30. MacKenzie BR., Almesjö L, Hansson S. Fish, Fishing, and Pollutant Reduction in the Baltic Sea. *Environ. Sci. Technol.* 2004, 38:1970-1976.
31. Wiberg K, Assefa AT, Sundqvist KL, Cousins IT, Johansson J, McLachlan MS, Sobek A, Cornelissen G, Miller A, Hedman J, Bignert A, Peltonen H, Kiljunen M, Shatalov V, Cato I. Managing the dioxin problem in the Baltic region with focus on sources to air and fish. Swedish Environmental Protection Agency, 2013. Report 6566. 131 s.
32. Sobek A, Sundqvist KL, Assefa AT ja Wiberg K. Baltic Sea sediment records: Unlikely near-future declines in PCBs and HCB. *Science of the Total Environment* 2015, 518–519:8–15
33. Assefa AT, Sobek A, Sundqvist KL, Cato I, Jonsson P, Tysklind M, Wiberg K. Temporal trends of PCDD/Fs in Baltic Sea sediment cores covering the 20th century. *Environmental Science and Technology* 2014, 48:947–953.

34. Assefa. Tracing and apportioning sources of dioxins using multivariate pattern recognition techniques. PhD Thesis 2015. Umeå University. 57 p.
35. Peltonen H, Kiljunen M, Kiviranta H, Vuorinen PJ, Verta M, Karjalainen J.. Predicting effects of exploitation rate on weight-at-age, population dynamics and bioaccumulation of PCDD/Fs and PCBs in herring (*Clupea harengus* L.) in the northern Baltic Sea. Environmental Science and Technology 2007,41:1849-1855.

