
RKTL:n työraportteja 27/2012

Kirjoloheen räätälöinti jalostuksen ja kuluttajan tarpeita vastaavaksi

Loppuraportti 2012

Susanna Airaksinen¹, Markus Kankainen¹, Jukka-Pekka Suomela², Mari Sandell^{2,3} ja Hannu Kiviranta⁴

¹ Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

² Turun yliopisto, Biokemian ja elintarvikekemian laitos

³ Turun yliopisto, Funktionaalisten elintarvikkeiden kehittämiskeskus

⁴ Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki
2012

DIAARINUMERO	395/31/2010
HANKENUMERO	40116/10
HANKKEEN KESTO	15.4.2010–31.8.2012
RAHOITTAJA	Tekes
HANKKEEN TOTEUTTAJA	Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Yhteyshenkilö	Tutkija Susanna Airaksinen



Julkaisija:
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Helsinki 2011

ISBN 978-951-776-940-2 (Verkkajulkaisu)

ISSN 1799-4756 (Verkkajulkaisu)

RKTL 2012

Kuvailulehti

Tekijät Susanna Airaksinen ¹ , Markus Kankainen ¹ , Jukka-Pekka Suomela ² , Mari Sandell ^{2,3} ja Hannu Kiviranta ⁴			
Nimeke Kirjoloheen räätälöinti jalostuksen ja kuluttajan tarpeita vastaavaksi – Loppuraportti 2012			
Vuosi 2012	Sivumäärä 52	ISBN 978-951-776-940-2	ISSN ISSN 1799-4756 (PDF)
Yksikkö/tutkimusohjelma TUPA/Elintarviketalouden tutkimusohjelma			
Hyväksynyt Riitta Rahkonen, TUPA			
Tiivistelmä Kirjolohi on merkittävä kalateollisuuden raaka-aine. Kirjolohituotteiston laatua tulee kehittää, jotta sen kilpailukyky kansainvälistyneillä markkinoilla voidaan turvata. Hankkeessa pilotoitiin koko arvoketjun kattavaa toimintamallia, jossa kalatuote räätälöidään alkutuotannosta alkaen vastaamaan käyttötarkoitustaan. Arvoketjun toimijoilla ja kuluttajilla on erilaisia vaatimuksia rasvapitoisuudelle ja rasvanlaadulle, joten tuotantomittakaavan kokeessa rasvapitoisuutta ja rasvanlaatua tarkasteltiin suhteessa i) jalostettavuuteen, ii) tuotelaatuun, iii) terveellisyyteen, iiiii) vierasaineisiin, iv) aistittaviin ominaisuuksiin sekä v) tuotannon taloudellisuuteen. Kirjoloheen tärkeimmät väli- ja lopputuotteet arvioitiin arvoketjun eri osissa, kun kalarehun rasvapitoisuutta muutettiin tai kalaöljyä korvattiin kotimaisella rypsiöljyllä. Tulosten perusteella kirjoloheen kasvatuksen riippuvuutta rajallisesta ulkomaisesta kalaöljystä voidaan turvallisesti vähentää. Kalaöljyn käytön puolittaminen nykyisestä korvaamalla sitä kotimaisella rypsiöljyllä ei aiheuttanut käytäntöä rajoittavia haitallisia liitännäisominaisuuksia arvoketjussa. Kalojen hyvinvointi, kasvu, jalostettavuus, säilyvyys ja aistittava laatu säilyivät hyvinä öljylähteestä riippumatta ja tuotteiden vierasainepitoisuus laski entisestään. Ennen kaikkea kalan terveellisten pitkäketjuisten rasvahappojen EPA- ja DHA-pitoisuudet pystyttiin palauttamaan siten, että niiden riittäväksi arvioitu saanti syöntisuosituksia noudattaen turvataan. Tämä edellyttää oikea-aikaista kalaöljypitoisemman rehun käyttöä kasvatuksen loppuvaiheessa. Kalaöljyn käytön vähentäminen paransi arvoketjun kokonaiskannattavuutta, joten kasvatuskäytäntöä muuttamalla voidaan samanaikaisesti parantaa kalankasvatuksen ekologista ja taloudellista kestävyyttä. Hankkeen yhteistyöverkosto kattoi kirjoloheen tuotantoketjun. Toimijoiden yhteistyöllä tutkimustulokset voidaan viedä nopeasti ja kannattavasti käytäntöön, toisin kuin tuontiraaka-aineella on mahdollista. Loppuruokinnan optimointi, ohjeistus ja toimien läpinäkyvyys ovat avainasemassa tutkimustulosten hyödyntämisessä.			
Asiasanat Kirjolohi, kalankasvatus, rehu, tuotelaatu, terveys, omega-3-rasvahappo, EPA, DHA, vierasaineet, aistinvarainen arvio, kannattavuus, arvoketju			
Julkaisun verkko-osoite http://www.rktl.fi/www/uploads/pdf/uudet%20julkaisut/tyoraportit/kirja_loppuraportti_2012.pdf			
Yhteydenotot Susanna Airaksinen, puh: +358 40 355 9970, susanna.airaksinen@rktl.fi			
Muita tietoja Tekesin Sapuska-ohjelman hanke			

Sisällys

Kuvailulehti	3
1. Johdanto	5
2. Tavoite ja sisältö	6
2.1. Toimenpiteet ja menetelmät	6
2.2. Resurssit	8
3. Tulokset	9
3.1. Kalarehun öljyraaka-aineet	9
3.1.1. Tausta	9
3.1.2. Vaihtoehdot	9
3.1.3. Koerehujen koostumus	10
3.1.4. Koerehujen vierasainepitoisuudet	12
3.2. Rasvapitoisuuden ja –laadun räätälöinnin käytännöt kalankasvatuksessa	15
3.2.1. Rasvapitoisuuden ja -laadun säätäminen	15
3.2.2. Rasvahappokoostumuksen muuttaminen ja palauttaminen	16
3.2.3. Paastoajan vaikutus rasvakoostumukseen	19
3.3. Rehun öljykoostumuksen vaikutukset jalostuksen väli- ja lopputuotteissa	20
3.3.1. Raaka-aineen ominaisuudet jalostuksessa	20
3.3.2. Lopputuotteen aistittava laatu	22
3.3.3. Rehun öljylähteen vaikutus säilyvyyteen - Rasvahappojen hapettuminen	26
3.3.4. Vierasaineiden pitoisuudet kirjolohissa	28
3.4. Kasvatettujen kirjolohien vierasaine- ja rasvahappovertailua	31
3.4.1. Kirjolohien vierasaineet, PCDD/F-, PCB- ja PBDE-yhdisteet	31
3.4.2. Kirjolohien rasvahappokoostumus	32
3.4.3. Yhteenveto vierasaine- ja rasvahappopitoisuuksista	34
3.5. Taloudelliset vaikutukset	35
3.5.1. Vähärasvaisen sekä kasviöljypainotteisen rehun vaikutukset arvoketjun kilpailukykyyn	35
3.5.2. Rehulaatujen yhdistäminen ja tuotantolinjainvestoinnit vaikuttavat kilpailukykyyn	40
4. Yhteenveto ja odotukset	42
Kiitokset	43
Viitteet	43
Liite 1	45

1. Johdanto

Kasvatettu kotimainen kirjolohi on Suomen kalatalouselinkeinon tukijalka. Kotimaassa kasvatetusta ruokakalasta lähes 95 %:a on kirjolohta. Kotimainen tuotanto ei pysty kuitenkaan kilpailemaan hinnalla edullisen ulkomaisen kalan kanssa kansainvälisillä kalamarkkinoilla. Kansallisen ruokastrategian taustaselvityksessä (MMM, 2009) mainitaan kansallinen tarve säilyttää kotimainen ruoantuotanto. Jotta tämä voidaan kalaelintarvikkeissa turvata, tulee kotimaisen kirjoloihen kilpailukykyä edistää laatua ja terveellisyttä unohtamatta.

Markkinoiden ja jalostusteollisuuden tarpeisiin soveltuva korkea laatu lisäisi kotimaisen raaka-aineen kilpailukykyä. Ulkomainen raaka-aine on edullinen ja entistä houkuttelevampi vaihtoehto jalostusteollisuudelle, jos kotimaista kalaa ei ole tarjolla tai sen laatu ei vastaa tuotannon vaatimuksia. Kotimaisten toimijoiden yhteistyöllä kotimaista tuotantoa voitaisiin räätälöidä vastaamaan jalostuksen tarpeita. Tuotantoprosessin tarpeisiin räätälöidyn raaka-aineen on oltava riittävän laadukas, jotta sitä voidaan hyödyntää markkinoinnissa ja tuotteiden erilaistamisessa.

Kalalla rasvapitoisuus on tärkeä ominaisuus tulevan käyttötarkoituksen kannalta. Rasvapitoisuudelle ei ole yhtenäisiä tavoitearvoja, koska suuri rasvapitoisuus on tietyille tuotteille eduksi, mutta toisille haitaksi. Korkea rasvapitoisuus voi parantaa raaka-aineen käytettävyyttä ja makua esimerkiksi graavi- ja savutuotteissa, mutta heikentää tuoreena myytävän fileen arvoa ja kalan käsiteltävyyttä prosesseissa. Toisaalta ylimäärärasvan kertyminen suolistoon ja vatsaliepeisiin kertoo kasvatustarpeiden ei-toivotusta ohjautumisesta kalan vähäarvoiseen osaan. Tuotevalikoiman monipuolistuessa väärä rasvapitoisuus voi johtaa laatuvirheisiin.

Kuluttajille kasvatettu kirjolohi on terveellinen ja turvallinen elintarvikekalaa, jota on kaupassa jatkuvasti tarjolla. Kasvatetun kirjoloihen rasvakoostumus on hyvä ja vierasainepitoisuus vähäinen, mutta sen terveellisyys puhuttaa silti muuttuvassa maailmassa jatkuvasti. Suomessa omega-3-rasvahappojen saanti suhteessa omega-6-rasvahappojen saantiin on pysynyt hyvänä pitkälti runsaan rypsiöljyn ja kalan käytön johdosta, mutta vain kala sisältää pitkäketjuisia terveydelle edullisia omega-3-rasvahappoja EPA ja DHA. Kasvatettu kala on kuitenkin sitä mitä se syö, joten globaalit muutokset rehun raaka-aineiden saatavuudessa vaikuttavat sen koostumukseen. Lohikalojen viljely perustuu pitkälti rehuihin, jotka sisältävät ravitsemuksellisesti arvokasta kalaöljyä, josta EPA ja DHA ovat peräisin. Vesiviljelyn kasvu ja kestävyys edellyttävät, että kalaöljylle löydetään vaihtoehtoja (Tacon ja Metian, 2008). Kalaöljyn korvaaminen kasviöljyllä ei aiheuta kalojen kasvuun liittyviä biologisia esteitä, jos välttämättömien rasvahappojen saanti turvataan, mutta rehun rasvalähteiden muuttuessa kalan rasvahappoprofiili muuttuu ja tuotteen terveellisyysvaikutukset voivat vähentyä. Kalan koostumuksen muutos voi vaikuttaa terveellisuuden lisäksi myös raaka-aineen jalostettavuuteen ja lopputuotteen aistittaviin ominaisuuksiin.

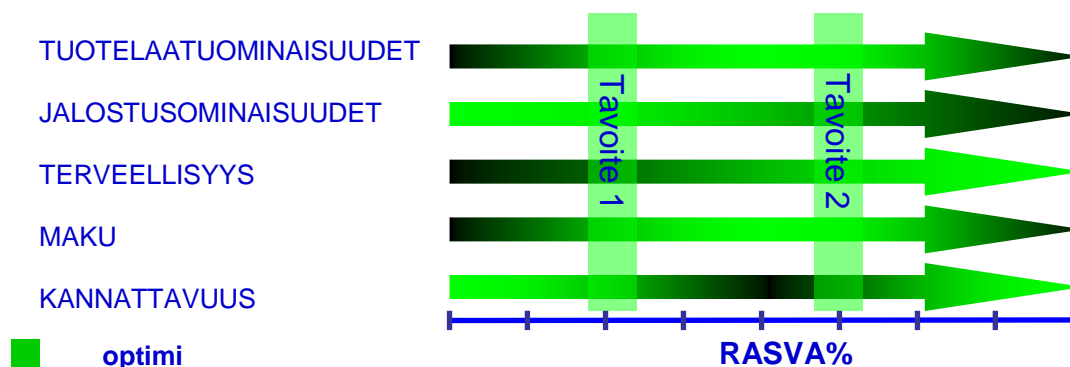
Suomalaisen kalankulutus on lisääntynyt, mutta kalaa syödään edelleen vähemmän kuin suositusten mukaan pitäisi syödä. Kulutuksen kasvu perustuu pitkälti punalihaiseen tuontikalaan ja kotimaisen kalan kulutus on jopa vähentynyt. Vuonna 2007 vielä yli puolet kalanjalostusteollisuuden punalihaisen kalan raaka-aineesta oli kotimaisten yritysten tuottamaa, kun vuonna 2011 ulkomainen raaka-aine ohitti jo selkeästi kotimaisen (Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Tilastot). Suomalainen kuluttaja arvostaa kotimaista kalaa, mutta kasvatetun kotimaisen kalan mainetta voidaan parantaa laatua ja tuotteistoa kehittämällä. Kala-alan toimijoiden resurssit tuotekehitykseen ovat olleet vähäisiä ja hankkeet keskittyvät tavallisesti yksittäisiin toimijoihin, jolloin hyötyä ei ole voitu arvioida läpi arvoketjun. Laadukas tuote vaatii koko tuotantoketjulta yhteisiä panostuksia. Korkealaatuiset ja

herkulliset tuotteet lisäävät kuluttajien luottamusta kotimaisiin kalatuotteisiin, kun taas mielikuvat heikkolaatuisista tuotteista voivat olla pitkäkestoisia.

2. Tavoite ja sisältö

Hankkeen ensimmäisenä tavoitteena oli pilotoida koko arvoketjun kattavaa toimintamallia, jossa kalatuote räätälöidään vastaamaan käyttötarkoitustaan eri arvoketjun toimijoiden vaatimusten mukaisesti ja kilpailukyvyyn parantamiseksi. Kalan käytettävyyden ja terveellisuuden kannalta keskeiset ominaisuudet, rasvapitoisuus ja rasvan laatu, valittiin tarkasteluun suhteessa i) jalostettavuuteen, ii) tuotelaatuun, iii) terveellisyteen, iiiii) vierasaineisiin, iv) aistittaviin ominaisuuksiin sekä v) tuotannon taloudellisuuteen arvoketjun eri osissa (kuva 1).

Hankkeen toisena tavoitteena oli tuottaa tietoa, jonka avulla kasvatetun kalan koostumuksen terveellisyys pystytään säilyttämään muuttuvassa toimintaympäristössä. Rehuraaka-aineiden saatavuuden globaalit trendit johtavat lisääntyneeseen kasviöljyjen käyttöön, mikä voi heikentää kalatuotteille ominaista terveydellistä laatua. Kalan terveellisuuden palauttamiseksi tutkittiin ns. korjaavan loppuruokinnan (washout) mahdollisuuksia kasviöljypohjaisen ruokinnan jälkeen. Tulosten perusteella kalankasvatusta ja -ruokintaa pystytään ohjeistamaan yhteisesti asetettavan tavoitteen mukaisesti ja siten, että tuotanto on kannattavaa ja korkealaatuisia aina kasvatuksesta kuluttajan lautaselle saakka tarkasteltaessa.



Kuva 1. Tuotteen räätälöinti arvoketjun näkökulmasta – esimerkkinä rasvapitoisuuden optimointi. Kalan rasvapitoisuus vaihtelee tietyllä välillä kasvatuskäytännöistä riippuen. Rasvapitoisuuden optimaalista tasoa tarkastellaan eri ominaisuuksien suhteen (listattu vasemmalla) kullakin arvoketjun portaalla. Kun ominaisuus, tässä hypoteettisesti, paranee, väri kirkastuu ja päinvastoin. Kunkin ominaisuuden vaikutus kannattavuuteen voi olla positiivinen tai negatiivinen, mutta ketjun kokonaiskustannus (alinna) ratkaisee. Raja-arvot ja suositukset määräytyvät kunkin tavoitteen mukaisesti, esim. tavoite 1, hyvät jalostusominaisuudet tai tavoite 2, tuotteen terveellisyys. Räätälöinnillä ohjataan alkutuotannon kasvatusmenetelmää asetetun tavoitteen mukaiseen suuntaan.

2.1. Toimenpiteet ja menetelmät

Rehusuunnittelu ja öljylähteiden valinta Rehun öljylähteiden potentiaali kartoitettiin. Uusimman kansainvälisen tutkimustiedon sekä RKTL:n ja Raisioagro Oy:n (ent. Rehuraisio Oy) asiantuntemuksen avulla suunniteltiin tarvittavat kirjolohirehut, jotka valmistettiin RKTL:n Laukaan kalanviljelylaitoksella Raisioagron jälkiöljyamättömistä rehuista.

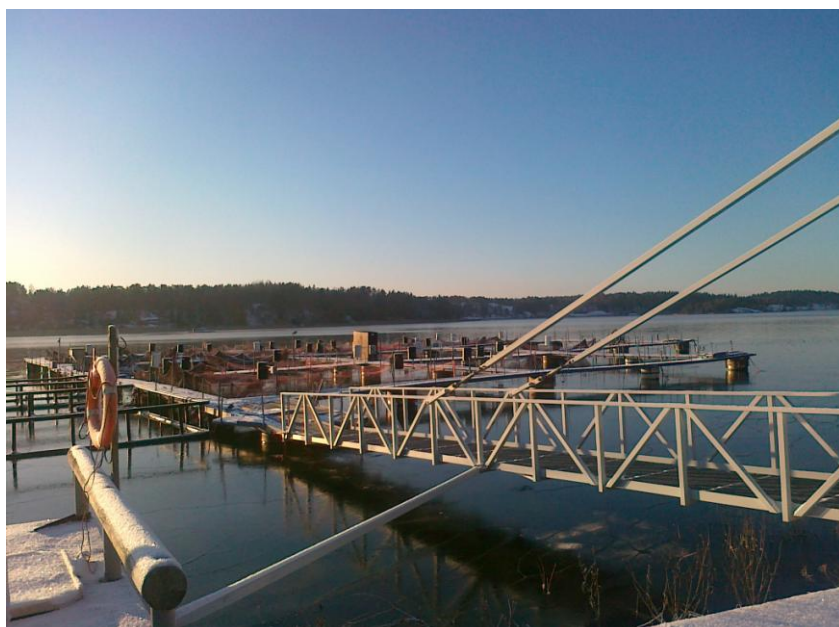
Rasvapitoisuuden säätäminen Kasvatuskokeessa (kuva 2) tuotettiin kalaa sekä vähärasvaisella (Low) että korkearasvaisella (High ja Vege) rehulla jatkojalostuksen raaka-aineeksi. Rasvapitoisuuden vaikutus tuotannollisiin ominaisuuksiin, rasvan kertymiskohtiin, lihaksen rakenteeseen, väriin, vedensidontakykyyn, käsiteltävyyteen, jalostettavuuteen, säilyvyyteen ja koostumukseen (rasvahapot ja vierasaineet) tutkittiin. Kalojen soveltuvuus lopputuotteiden raaka-aineeksi arvioitiin kalanjalostusprosessissa sekä kylmä- että lämminsavutuotteina myös aistinvaraisesti. Lopputuotteet valmistettiin yhteistyöryityksessä normaalien teollisten käytäntöjen mukaisesti. Menetelmäkuvaukset on esitetty liitteessä 1.

Rasvan koostumuksen muuttaminen ja palauttaminen Kasvatuskokeeseen suunniteltiin lisäksi rehu, jossa kalaöljyä korvattiin kasviperäisellä öljyllä (rypsiöljy, Vege). Raaka-aineominaisuudet tutkittiin samoin kuin edellisessä osiossa on kuvattu. Tässä ryhmässä testattiin myös lihaksen rasvahappokoostumuksen palautumista ja palautumisnopeutta, kun kasviöljypohjainen rehu muutettiin takaisin kalaöljypohjaiseksi ennen perkuuta niin sanotussa washout –käsittelyssä (Wo).

Rasvan koostumuksen merkitys kalalle Rasvahappoprofiili määritettiin lihaksen lisäksi myös kalan ei-syötävästä osasta (varastorasva ja gonadit), jotta saatiin käsitys rasvahappokoostumuksen fysiologisesta merkityksestä kalalle. Pienenä osakokeena tutkittiin pidennetyn paaston merkitystä rasvahappoprofiiliin ja mahdolliseen rasvahappojen valikoivaan käyttöön energianlähteenä. Tutkimuksen muissa osioissa perkuuta edelsi vakiintuneita käytäntöjä mukaileva paastoaika.

Kirjoloihen vierasaine- ja rasvahappovertailu, terveellisyysnäkökulma Kirjoloista mitattuja haitallisten yhdisteiden pitoisuuksia sekä hyödyllisten rasvahappojen määriä tarkasteltiin suhteessa valittuun kalankasvatustapaan. Määriä arvioitiin ihmisen terveellisyysnäkökulmasta.

Taloudellisten arvojen määrittäminen Rehukäsittelyjen kustannukset ja siitä saatavat taloudelliset hyödyt määritettiin arvoketjun eri osissa rehun valmistajalta kalanjalostusteollisuuteen. Kustannukset ja hyödyt yhdistettiin kokonaiskannattavuutta arvioivaan taloudelliseen malliin. Tulosten perusteella arvioitiin, onko rehun öljylähteen muuttamiselle tuotannollisia tai taloudellisia perusteita kotimaisessa kalankasvatuksessa.



Kuva 2. Kalankasvatusta verkkoaltaissa Rymättylän kalantutkimusasemalla (kuva Susanna Airaksinen).

2.2. Resurssit

Tutkimus toteutettiin kolmena rinnakkaishankkeena, joita koordinoi Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos (RKTL). Kokeellinen työ toteutettiin RKTL:n tiloissa Rymättylässä, Paraisilla ja Laukaalla. Rinnakkaishankkeista vastasivat Turun yliopiston Biokemian ja elintarvikekemian laitos (ETK, rasvahapot ja rasvojen hapettuminen) ja Funktionaalisten elintarvikkeiden kehittämiskeskus (FFF, aistinvarainen arvio) sekä Terveyden ja hyvinvoinninlaitos (THL, vierasaineet ja terveellisyysnäkökulma).

Avainhenkilöitä RKTL:ssä olivat:

- FT Susanna Airaksinen, tutkija - koordinaatio ja vastuullinen johto, suunnittelu, koekasvatus, tuotelaatu, jalostusmittaukset, analyysi ja raportointi
- KTM Markus Kankainen, tutkija – suunnittelu, taloudelliset laskelmat, analyysi ja raportointi
- KTM Jari Setälä, tutkija - suunnittelu ja taloudelliset laskelmat
- FT Jouni Vielma, erikoistutkija - suunnittelu
- FT Juha Koskela, erikoistutkija - suunnittelu
- Olli Norrdahl, tuotantopäällikkö - koekasvatus
- Jari Riihimäki, tutkimusmestari – koekasvatus ja tuotelaatu
- Jukka Bomberg, tuotantopäällikkö - rehujen valmistus
- Leena Kytömaa, laboratoriomestari - rehuanalytiikka
- FM Marko Tarvainen, määräaikainen tutkimusassistentti - näyteanalytiikka

Avainhenkilöitä ETK:lla ja FFF:ssa olivat:

- Prof. Heikki Kallio - vastuullinen johto
- FT Jukka-Pekka Suomela, projektipäällikkö - rasvahappo- sekä hapettumismääritykset ja raportointi
- Dos. Mari Sandell, projektipäällikkö – aistinvarainen arviointi ja raportointi
- FM Saila Mattila, tutkimusassistentti – aistinvarainen arviointi
- FM Marko Tarvainen, projektitutkija - rasvahappomääritykset sekä hapettumismääritykset

Avainhenkilöitä THL:ssä Ympäristöterveyden osastolla olivat:

- FT, Dos. Hannu Kiviranta, johtava tutkija – vastuullinen johto, vierasaineet, terveellisyysarviointi ja raportointi
- FT Anu Turunen, tutkija – terveellisyysarviointi
- FT Päivi Ruokojärvi, erikoistutkija – analyysien laadunvarmistus
- Riitta Musakka, tutkimusanalytiikko – vierasainemääritykset
- Tatjana Vatanen, tutkimusanalytiikko – vierasainemääritykset
- Eija Miettinen, tutkimusanalytiikko – vierasainemääritykset

Yrityksillä oli keskeinen rooli tutkimuksen suunnittelussa, seurannassa ja toteuttamisessa sekä hyödyntämisessä jatkossa. Avainhenkilöitä olivat:

- Kehityspäällikkö Knut-Olof Lerche, ohjausryhmän puheenjohtaja, Raisioagro Oy
- Toimitusjohtaja Mauno Liukkonen, ohjausryhmän jäsen, Savon Taimen Oy
- Kehityspäällikkö Lars Lönnström, ohjausryhmän jäsen, Taimen Oy
- Toimitusjohtaja Timo Vetriö, ohjausryhmän jäsen, Oy Chipsters Food Ab
- Teknologia-asiantuntija Heikki Aro, ohjausryhmän jäsen, Tekes

Muut yhteistyötahot:

- Jaostonjohtaja Tiina Putkonen, Elintarviketurvallisuusvirasto Evira, Kemian ja toksikologian tutkimusyksikkö - rehuanalytiikka (RKTL:n ja Eviran välisen yhteistyösopimuksen puitteissa)
- Toiminnanjohtaja Katriina Partanen, Pro Kala ry, - markkinoinnin ja tiedottamisen kehittäminen
- Rehtori Mailia Kuuppo, Ammattiopisto Livia, Kalatalous- ja ympäristöinsituutti - koekasvatus
- Prof. Jarmo Alander, Vaasan yliopisto - rasvan sijainnin ja kuvantamisen automatisoidut mittausten menetelmät ja ohjelmat (ostopalveluna)

3. Tulokset

3.1. Kalarehun öljyraaka-aineet

3.1.1. Tausta

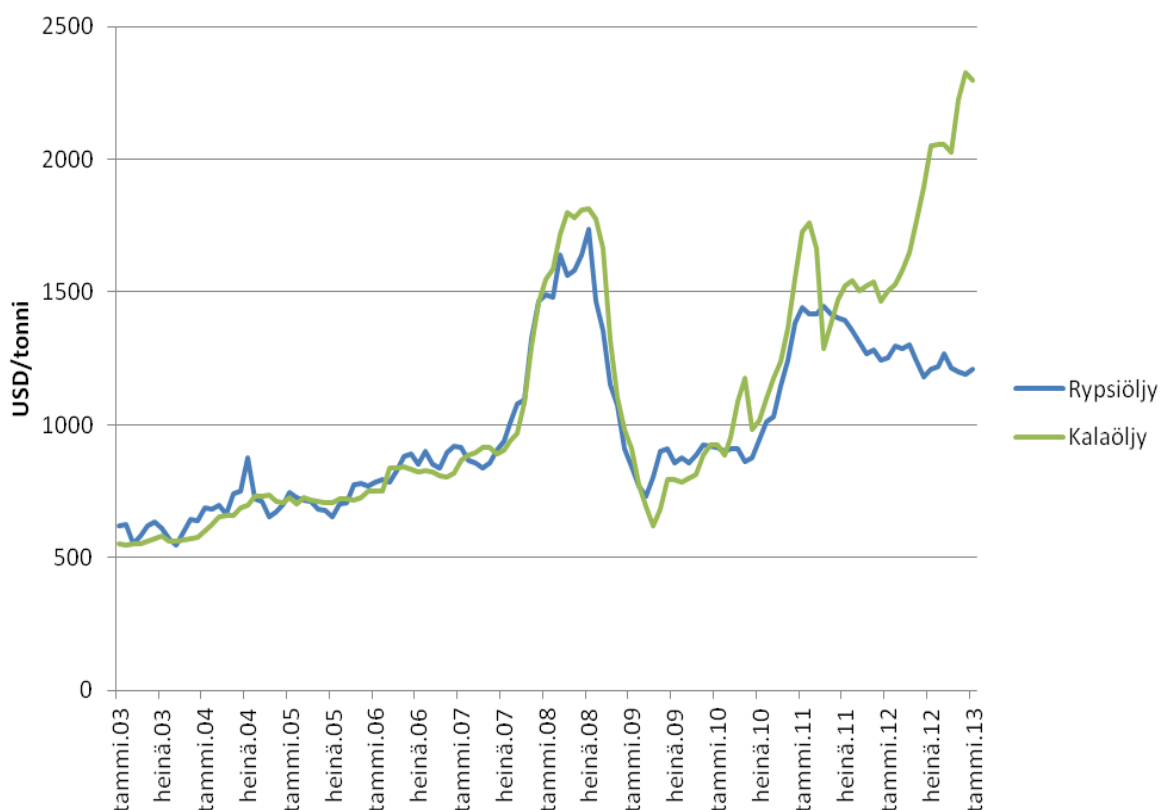
Kalojen rehuihin käytettävien kalaraaka-aineiden saatavuus heikkenee maailman kalakantojen ehtyessä. Suuri osa maailman kalajauhosta ja -öljystä käytetään kalojen viljelyyn. On arvioitu, että kasvavana elintarviketuotannon alana vesiviljely käyttää lähitulevaisuudessa 85 % maailman vähenevästä kalaöljyn tarjonnasta (Tacon ja Metian, 2008). Kalajauhon ja kalaöljyn käytölle on löydettävä vaihtoehtoja, jotta kalankasvatuksen kestävä kasvu voidaan turvata.

Kansallisen vesiviljelyohjelman 2015 (MMM, 2009) yhdeksi tavoitteeksi nimetään vaihtoehtoisten rehun raaka-aineiden käytön edistäminen. Avainasemassa on rehuteollisuus. Suomen kalanrehuteollisuudelle erityisesti Karjalan tasavalta ja Länsi-Venäjä on jo nyt merkittävä ja kasvava markkina-alue kotimaan rehumarkkinoiden lisäksi, joten tuotekehitykseen panostetaan.

Tärkeimpien kasvatuslajiemme, kirjoloihen ja siian, viljely perustuu rehuihin, jotka hyödyntävät rehun rasvan raaka-aineena pitkälti kalaöljyä. Kalaöljy voidaan korvata kasviöljyllä, kun kalalle välttämättömien rasvahappojen saanti turvataan. Kalaöljyyn ja sen rasvahappokoostumukseen perustuu osaltaan kuitenkin myös kalan terveellisyys elintarvikkeena. Kun kalan rehun kalaöljyä korvataan kasviöljyllä, myös kalan rasvahappoprofiili muuttuu ja terveyttä edistävien pitkäketjuisten omega-3-rasvahappojen suhteellinen osuus vähenee. Tuloksena voi olla tuote, jonka ravitsemuslaatu on heikentynyt.

3.1.2. Vaihtoehdot

Kalajauhon ja kalaöljyn hinta on noussut kansainvälisillä markkinoilla kalanviljelyn lisääntymisen ja siten kalarehun käytön kasvun myötä (FAO 2012). Kansallisessa rehustrategiassa (2011 - 2020) todetaan, että raaka-ainekustannusten alentamisen ja ympäristöä vähemmän kuormittavien rehujen valmistamisen vuoksi lohikaloiden kasvatusrehuissa on kalaperäisiä raaka-aineita korvattu yhä enemmän kasviperäisillä raaka-aineilla, kuten soijavalkuaisella ja rypsiöljyllä. Lähellä tuotettu rypsiöljy voisi olla osaratkaisuna kalaöljyn saatavuus ja hintaongelmaan (kuva 3). Kalaöljyn korvaaminen kasviöljyllä muuttaa kalan rehun rasvakoostumusta öljylähteen mukaiseksi (taulukko 1). Kasviöljyt sisältävät pehmeitä tyydyttymättömiä rasvahappoja runsaasti, mutta pellavaöljyä lukuunottamatta vähemmän omega-3-rasvahappoja, joista pitkäketjuisia EPA:aa ja DHA:ta ne eivät sisällä lainkaan. Hyvän rasvahappokoostumuksen puolesta toinen kotimainen vaihtoehto olisi pellavaöljy, mutta sen tuotanto ei ole niin vakiintunutta kuin rypsiällä ja sen satoisuus on rypsiä heikompi. Kotimaisen rypsiöljyn saatavuus ja koostumus ovat hyvät, minkä vuoksi se valittiin kokeellisesti testattavaksi öljylähteenä. Hankkeen aikana valmisteltu neonikotinoidien käytön kieltäminen rypsin peittäusaineena voi asettaa kuitenkin uusia haasteita rypsin viljelylle jatkossa.



Kuva 3. Rypsi- ja kalaöljyn hinnan (USD/tonni) viimeaikainen kehitys 2003-2013. Kuva perustuu FAO:n julkaisemiin tilastotietoihin (lähteet: <http://www.fao.org/economic/est/prices>).

Taulukko 1. Eri öljyjen rasvahappokoostumuksia (muokattu Turchinin ym. 2009 mukaan). Kalaöljynä esitetään keskimääräinen koostumus sardelli-, villakuore-, menhaden- ja silliöljystä.

Rasvat	Soijaöljy	Rypsiöljy	Pellavaöljy	Kalaöljy
Tyydyttyneet rasvahapot, SFA %	14,2	4,6	9,4	24,8
Kertatyydyttymättömät rasvahapot, MUFA %	23,2	62,3	20,2	42,0
Monityydyttymättömät rasvahapot, PUFA %	57,8	32,2	66	23,1
Linolihappo (omega-6), LA	51	20,2	12,7	1,3
Alfalinoleenihappo (omega-3); ALA	6,8	12	53,3	0,5
EPA	-	-	-	10,3
DHA	-	-	-	6,5
Omega-6-rasvahapot %	51	20,2	12,7	1,5
Omega-3-rasvahapot %	6,8	12	53,3	21,6
n-3/n-6	1 : 8	1 : 2	4 : 1	14 : 1

3.1.3. Koerehujen koostumus

Rehun lähtöaineena käytettiin Raisioagron jälkiöljyämätöntä kirjolohirehua (Low, taulukko 2). Jälkirasvaus tehtiin RKTL:n kalanviljelylaitoksella Laukaalla joko kalaöljyn ja rypsiöljyn seoksella (70:30, High) tai pelkällä rypsiöljyllä (Vege). Rasvapitoisuus kasvaa siirryttäessä suurempaan pellettikokoon. Kokeen aikana käytettiin kolmea eri pellettikokoa 3,5, 5,0 ja 7,0 mm. Kokeellisessa työssä käytettävällä ekstruuderilaitteistolla ei ihan päästä korkeimpiin kaupallista rehua vastaaviin rehun rasvapitoisuuksiin (7 mm, 32 % *versus* 35 %). Koerehujen keskimääräiset rasvapitoisuudet (Evira, THL,

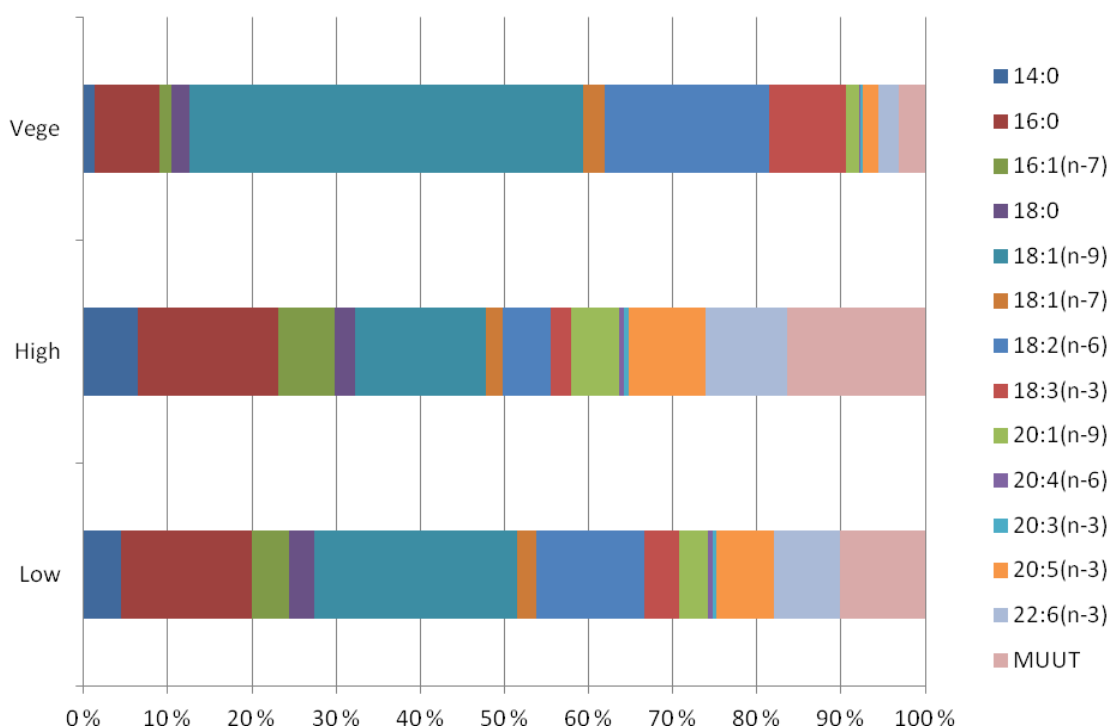
TY, taulukko 2), energiasisällöt (RKTL, taulukko 2), rasvahappokoostumukset (TY, taulukko 2 ja kuva 4) ja vierasainepitoisuudet (THL, taulukko 3 ja kuvat 5-7) määritettiin hankkeen tutkimuslaitoksissa.

Taulukko 2. Koerehujen keskimääräinen energiasisältö, rasvapitoisuus ja koostumus (kokoomanäytteet eri kokoisista pelletteistä).

Rehut	Vege	High	Low
Energia KJ/g	24,5	24,7	21,5
Rasva %	28,4	28,7	12,5
Tyydyttyneet rasvahapot %	11,2	25,6	23,0
Kertatyydyttymättömät rasvahapot %	52,3	29,9	34,1
Monityydyttymättömät rasvahapot %	33,3	28,0	32,6
Muut %	3,2	16,4	10,2
Omega-3-rasvahapot %	13,6	21,8	19,3
Omega-6-rasvahapot %	19,7	6,2	13,4
EPA ja DHA yhteensä %	4,3	18,8	14,6

Rehun rasvasta kalaöljy sisältää runsaasti terveellisiä rasvahappoja eikosapentaeenihappo (EPA; 20:5n-3) ja dokosaheksaeenihappo (DHA; 22:6n-3) (taulukko 1). Näiden rasvahappojen suhteellinen osuus on runsaasti kalaöljyä sisältävässä rehussa noin 15 %:sta (Low) lähes 20 %:iin (High), kun rypsiöljyllä täydennetyssä rehussa (Vege) osuus jää alle 5 %:iin (taulukko 2, kuva 4). Öljy- ja linolihapon (18:1(n-9) ja 18:2(n-6)) osuus taas on rypsiöljylle tyypillisesti suuri kasviöljypohjaisessa rehussa (kuva 4). Siis kun kalaöljyn käyttöä rehussa vähennettiin Vege-rehulla ruokittaessa alle puoleen, tippui EPA:n ja DHA:n osuus rehun rasvahapoista alle neljännekseen High-rehuun verrattuna.

Rehu



Kuva 4. Koerehujen (Vege; korkea kasviöljypitoisuus, High; korkea kalaöljypitoisuus ja Low; alhainen rasva- ja korkea kalaöljypitoisuus) rasvahappokoostumusprofiilit. Rasvahapot on ilmoitettu lyhenteinä, joiden ensimmäinen numero kertoo rasvahappoketjun pituuden peräkkäisinä hiiliatomeina, kaksoispisteen jälkeen oleva numero kertoo kaksoissidosten lukumäärän ja sulussa oleva numero kertoo ensimmäisen kaksoissidoksen sijainnin kussakin rasvahapossa. EPA; 20:5(n-3) ja DHA; 22:6(n-3).

3.1.4. Koerehujen vierasainepitoisuudet

High-rehussa oli suurimmat, noin kaksinkertaiset polykloorattujen dibentso-*p*-dioksiinien ja -furaanien - (PCDD/F-) ja polykloorattujen bifenyyleiden - (PCB-) pitoisuudet verrattuna Low- ja Vege-rehuihin (taulukko 3). Tämä oli oletettua ottaen huomioon, että High-rehussa oli noin kaksinkertainen määrä kalaöljyä verrattuna Low- ja Vege-rehuihin. Sen sijaan palonestoaineiden (polybromatut difenyylietterit, PBDE-yhdisteet) pitoisuuserot rehujen välillä olivat pieniä. Low- ja Vege-rehun välillä selvää eroa PCDD/F- ja PCB-yhdisteiden osalta ei odotettu eikä havaittu, kun tarkasteltiin upper bound-pitoisuuksia (kts. taulukkoteksti). Toisaalta lower bound -pitoisuudet osoittivat, että Vege-rehussa oli vähiten näitä vierasaineita.

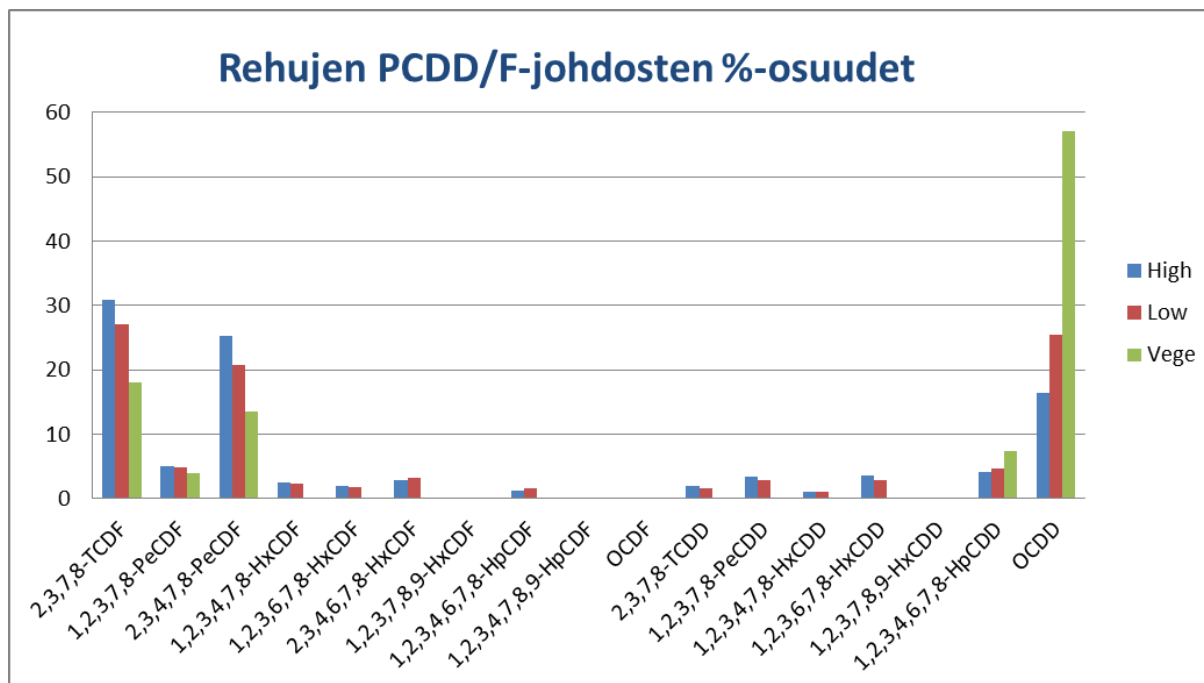
Rehujen pitoisuudet alittivat EU:n Komission asettamat suurimmat sallitut pitoisuudet kalarehulle, joten kaikki rehut olivat kalanviljelyyn soveltuvia. EU Komission asetuksen (N:o 277/2012) määrittämät rehun (kosteuspitoisuus 12 %) maksimipitoisuudet ovat seuraavat:

- WHO_{PCDD/F}-TEQ₂₀₀₅; 1,75 pg/g
- WHO_{PCDD/F-PCB}-TEQ₂₀₀₅; 5,5 pg/g
- Summa ICES PCB; 40 ng/g

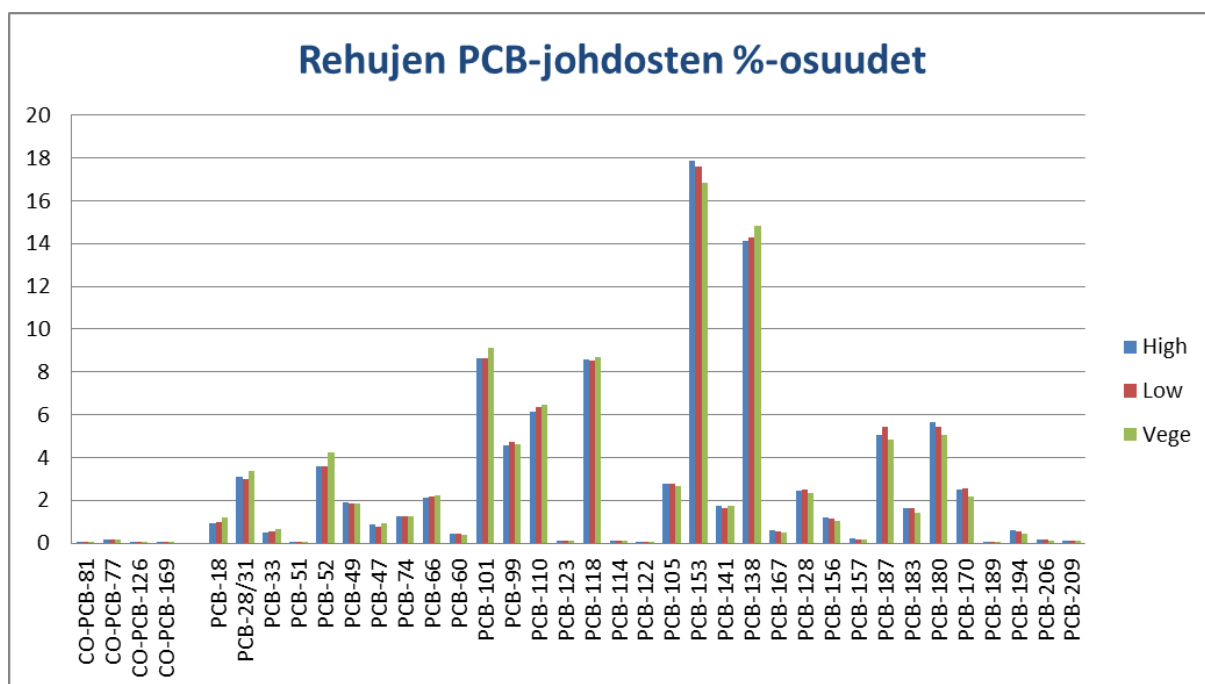
Taulukko 3. Kolmen kasvatuskokeissa käytetyn rehun PCDD/F-toksinen ekvivalenttipitoisuus ($WHO_{PCDD/F-TEQ_{2005}}$), PCDD/F- ja PCB-yhdisteiden yhdistetty toksinen ekvivalenttipitoisuus ($WHO_{PCDD/F-PCB-TEQ_{2005}}$), indikaattori-PCB-yhdisteiden summapitoisuus sekä PBDE-yhdisteiden summapitoisuus rehussa, joka on kosteuspitoisuudeltaan 12 %. Tulokset ovat ns. upper bound-arvoja, eli pitoisuudeksi on merkitty määritysrajapitoisuus niille yhdisteille, joilla pitoisuus jäi alle määritysrajan. LB tarkoittaa ns. lower bound-arvoja, jolloin alle määritysrajan jääneen yksittäisen yhdisteen pitoisuus on profiilia laskettaessa ollut 0.

	HIGH	LOW	VEGE
$WHO_{PCDD/F-TEQ_{2005}}$, pg/g	0,60 <i>0,60 (LB)</i>	0,27 <i>0,27 (LB)</i>	0,39 <i>0,15 (LB)</i>
$WHO_{PCDD/F-PCB-TEQ_{2005}}$, pg/g	1,75 <i>1,75 (LB)</i>	0,81 <i>0,80 (LB)</i>	0,77 <i>0,54 (LB)</i>
Summa ICES PCB, ng/g	13	5,4	4,7
Summa PBDE, ng/g	1,8	1,5	1,6

Rehujen PCDD/F-profiili paljasti Vege-rehussa selvän ilmalaskeuman profiiliin eli rypsiöljyn raaka-aineen mukana tulleet vierasaineet. Tämä näkyi 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD ja OCDD suhteellisesti korkeana osuutena profiilissa (kuva 5). Vähän kloorautuneilla PCDD/F-johdoksilla on suurin kertymispotentiaali, minkä vuoksi niitä tavataan mm. valtamerten kaloissa. Mitä enemmän rehussa oli käytetty kalaöljyä, sitä enemmän siinä oli näitä yhdisteitä, kuten 2,3,7,8-TCDF ja 2,3,4,7,8-PeCDF -johdoksia. PCB-profiilin osalta rehujen välillä ei ole merkittäviä eroja (kuva 6).

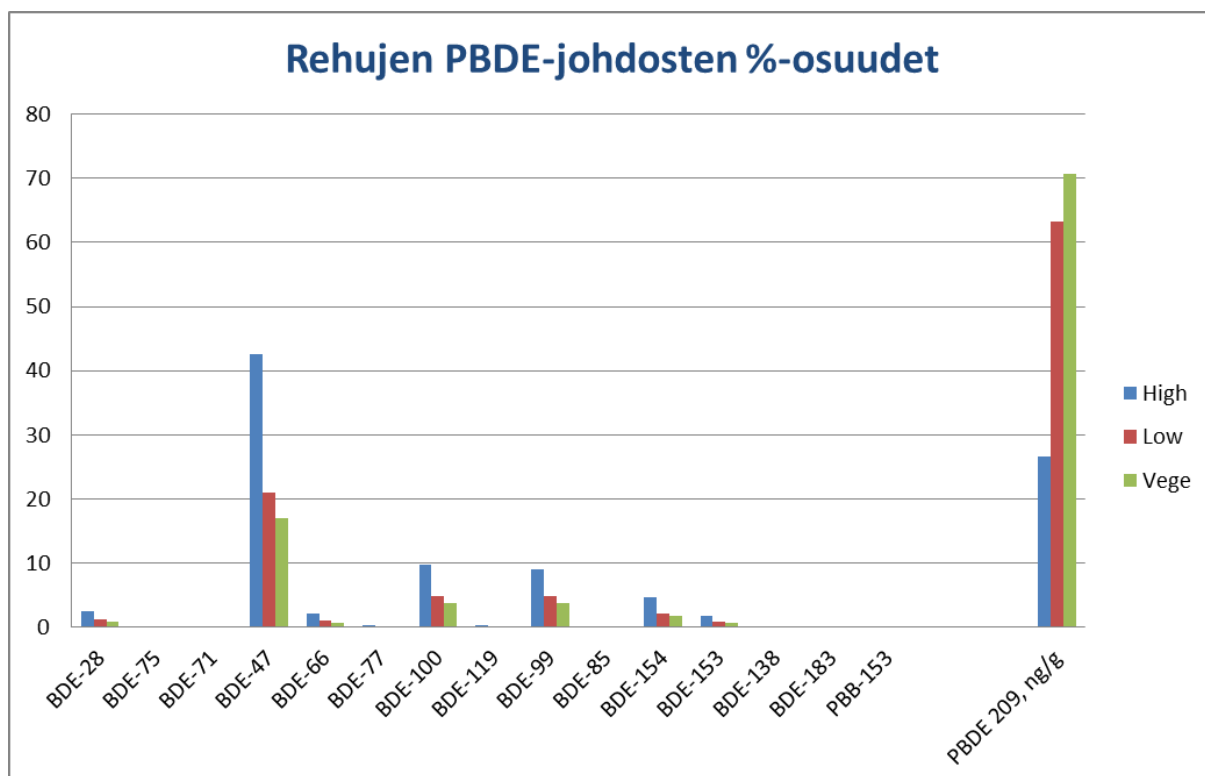


Kuva 5. Rehujen PCDD/F-johdosten prosenttiosuudet PCDD/F-yhdisteiden kokonaispitoisuudesta.



Kuva 6. Rehujen PCB-johdosten prosenttiosuudet PCB-yhdisteiden kokonaispitoisuudesta.

Syy dekabromatun difenyylietterin (BDE-209) suhteellisesti suureen osuuteen Low- ja Vege-rehussa jäi epäselväksi (kuva 7). Vaikuttaa siltä, että mitä suurempi oli rypsiöljyn pitoisuus, sitä enemmän oli BDE-209:ä. Tämä viittaa rypsiöljyn saastumiseen joko laskeuman kautta tai öljyn prosessoinnin yhteydessä. BDE-209:n merkitys lienee kuitenkin vähäinen, koska kyseinen johdos on heikosti kertyvä.



Kuva 7. Rehujen PBDE-johdosten prosenttiosuudet PBDE-yhdisteiden kokonaispitoisuudesta.

3.2. Rasvapitoisuuden ja -laadun räätälöinnin käytännöt kalankasvatuksessa

3.2.1. Rasvapitoisuuden ja -laadun säätäminen

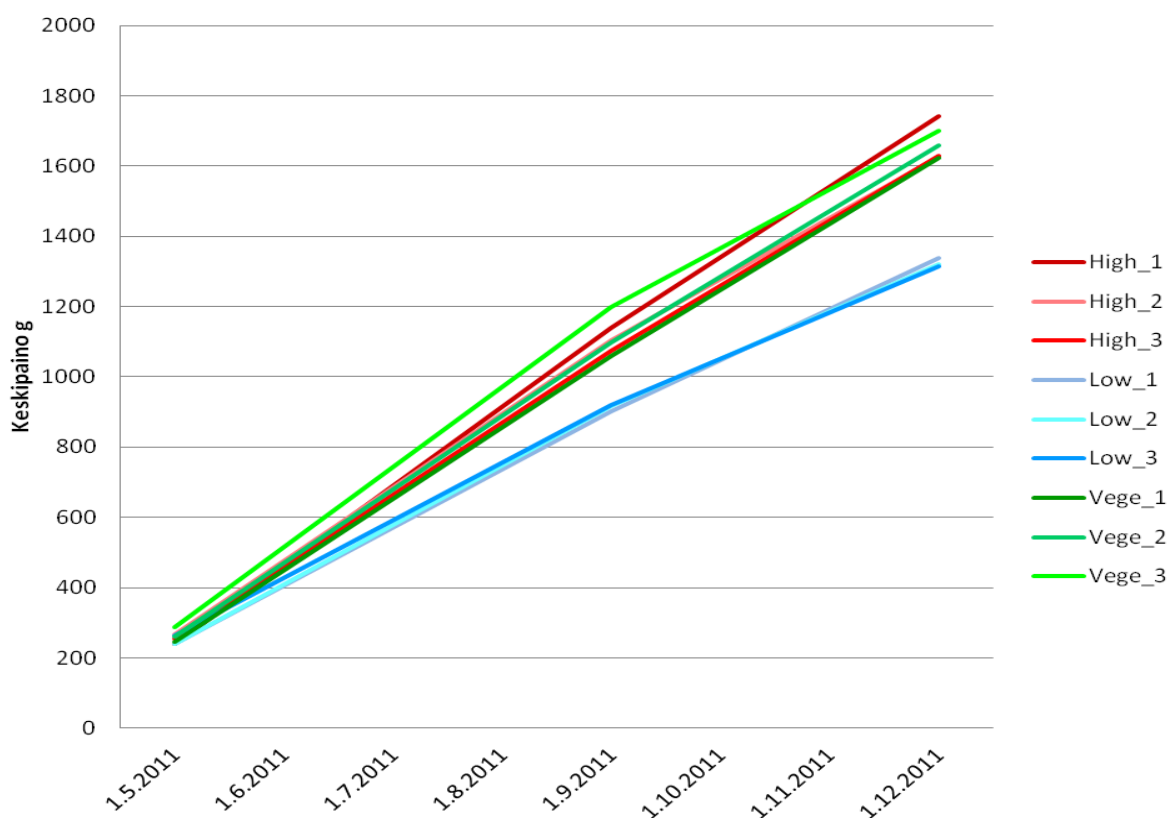
Merikasvatuskokeessa tuotettiin sekä vähärasvaista (Low) että rasvaista (High) kalaa jatkojalostuksen raaka-aineeksi rehun rasvapitoisuutta muuttamalla. Koetta varten suunniteltiin myös rasvainen rehu, jossa kalaöljyä korvattiin kasviperäisillä öljyaineksilla, tässä tapauksessa rypsiöljyllä (Vege). Rasvaisessa rehussa oli siis joko korkea kalaöljy- tai korkea kasviöljypitoisuus. Rehun alhainen rasvapitoisuus ja kalan sukukypsyminen pienensivät keskimääräistä lihaksen rasvapitoisuutta (taulukko 4) ja hidastivat odotetusti kalojen kasvua merikasseissa, kun ruokinta toteutettiin samalla ruokintataulukolla (kuva 8). Rasvapitoisuus ja kasvu Vege-ryhmässä eivät poikenneet merkittävästi High-ryhmän vastaavista arvoista. Erot kemiallisesti määritettynä olivat pienempiä kuin Distellillä mitattuna, todennäköisesti pienemmästä otoskoosta johtuen.

Esimerkkinä rehukäsittelyjen eroista rehukerroin ja kasvunopeus on esitetty taulukossa 5 lyhyen kiertovedessä tapahtuneen kasvujakson aikana. Kasviöljypohjainen rehu ei vaikuttanut merkittävästi rehukertoimeen tai kalojen kasvunopeuteen High-ryhmään verrattuna.

Taulukko 4. Kemiallisesti mitattu kokonaisrasvaprosentti kirjoloihen lihasnäytteissä (Rasva %) sekä Distellin rasvamittarin antama kalibroimaton lukema (Distell) pyöreästä kalasta mitattuna marraskuussa 2011 (marto tai sukukypsä, sk). Käsittelyissä rehun rasvapitoisuus oli korkea (kalaöljy; High tai kasviöljy; Vege) tai matala (Low).

Käsittely	Nahoitettut fileet			Pyöreä kala		
	Rasva %		n	Distell		n
Low (marto)	7,8	± 1,2	6	37,9	± 8,2	41
Low (sk)	7,8	± 2	2	23,9	± 5,7	30
High (marto)	12,6	± 1,9	4	50,2	± 9,7	40
High (sk)	11,6	± 1,1	7	43,6	± 10,4	32
Vege (marto)	9,7	± 0,7	6	48,0	± 8,1	43
Vege (sk)	10,4	± 0,7	5	39,2	± 6,8	25

Tulokset keskiarvo ± SD



Kuva 8. Kalojen keskipainot kolmessa rinnakkaisessa merikassissa kasvukauden aikana. Käsittelyissä rehun rasvapitoisuus oli korkea (kalaöljy; High tai kasviöljy; Vege) tai matala (Low).

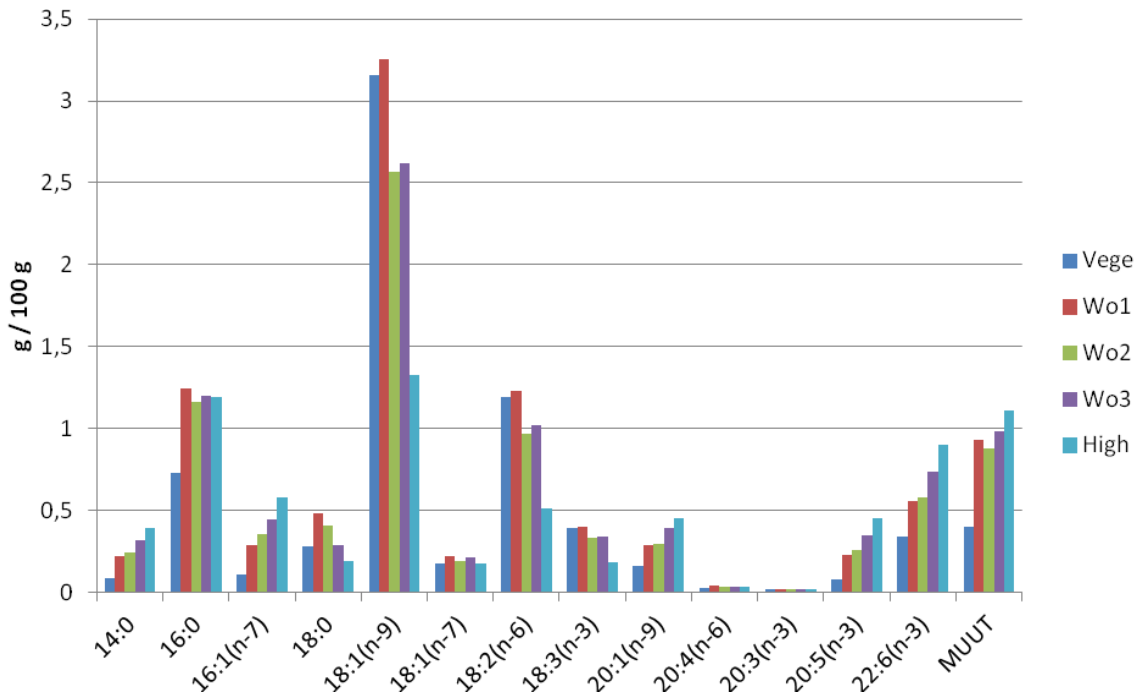
Taulukko 5. Rehukerroin (rehu kg/lisäkasvu kg) ja kasvunopeus (%/vrk) kiertovedessä syys-marraskuussa 2011 (47 vrk) eri koerehuilla kolmessa rinnakkaisessa altaassa. Eri kirjain osoittaa merkitsevää eroa käsittelyjen välillä.

Käsittely	Rehukerroin		Kasvunopeus %		n
	Keskiarvo	StDev	Keskiarvo	StDev	
HIGH	1,02 ^a	0,071	0,75 ^a	0,045	3
LOW	1,28 ^b	0,023	0,59 ^b	0,020	3
VEGE	1,14 ^a	0,027	0,67 ^{ab}	0,033	3

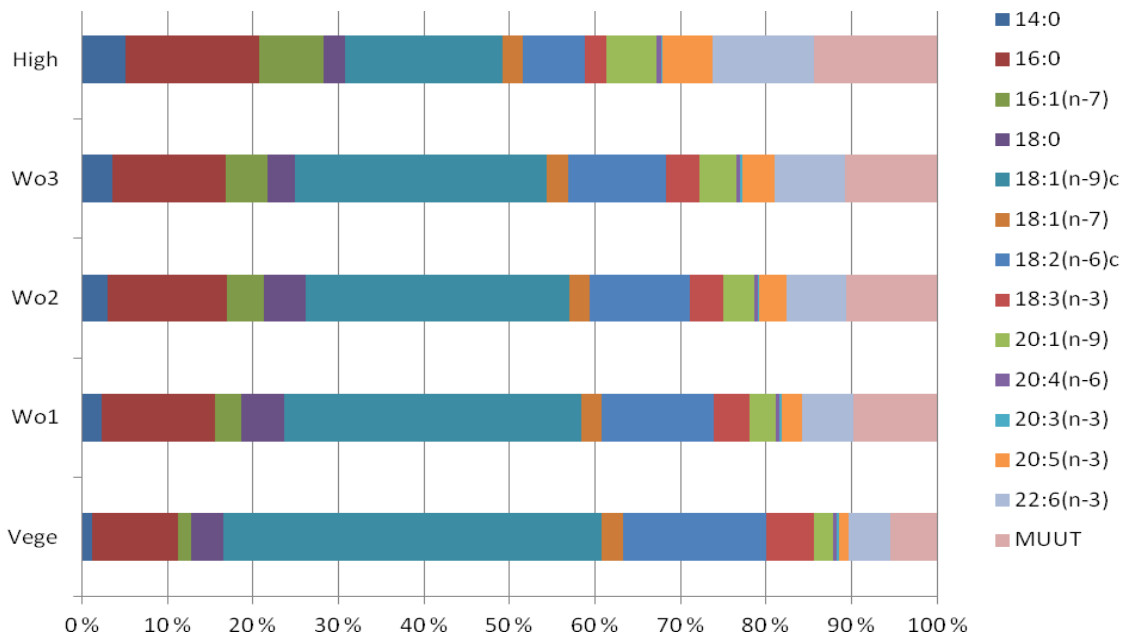
3.2.2. Rasvahappokoostumuksen muuttaminen ja palauttaminen

Kasviöljykäsittelyssä tutkittiin lihaksen rasvahappokoostumusta ja sen muutosta, kun koerehu palautettiin takaisin kalaöljypohjaiseksi rehuksi ennen perkuuta niin sanotussa washout -käsittelyssä (Wo). Tällaista käsittelyä on testattu mm. lohella kalatuotteiden omega-3-rasvahappopitoisuuden palauttamiseksi kasviöljypohjaisen ruokinnan jälkeen (Turchini ym., 2009). Koe toteutettiin pääosin kiertovesiympäristössä merikasvatuksen päätteeksi.

Rehun kalaöljyn korvaaminen kasviöljyllä laskee terveellisten rasvahappojen, EPA:n ja DHA:n, pitoisuuksia kalan lihaksessa (kuvat 9 ja 10). Kalaöljyn palauttaminen rehuun kasvatuksen loppuvaiheessa puolestaan nosti kyseisten rasvahappojen osuutta rasvahapoista. EPA:n ja DHA:n osuus lihaksen rasvahapoista oli kasviöljykäsittelyssä 6 % (Vege) ja washout-käsittelyn kestosta riippuen 8 % (Wo1), 10 % (Wo2) tai 12 % (Wo3), kun se kalaöljykäsittelyssä oli 18 % (High, kuvat 9 ja 10).



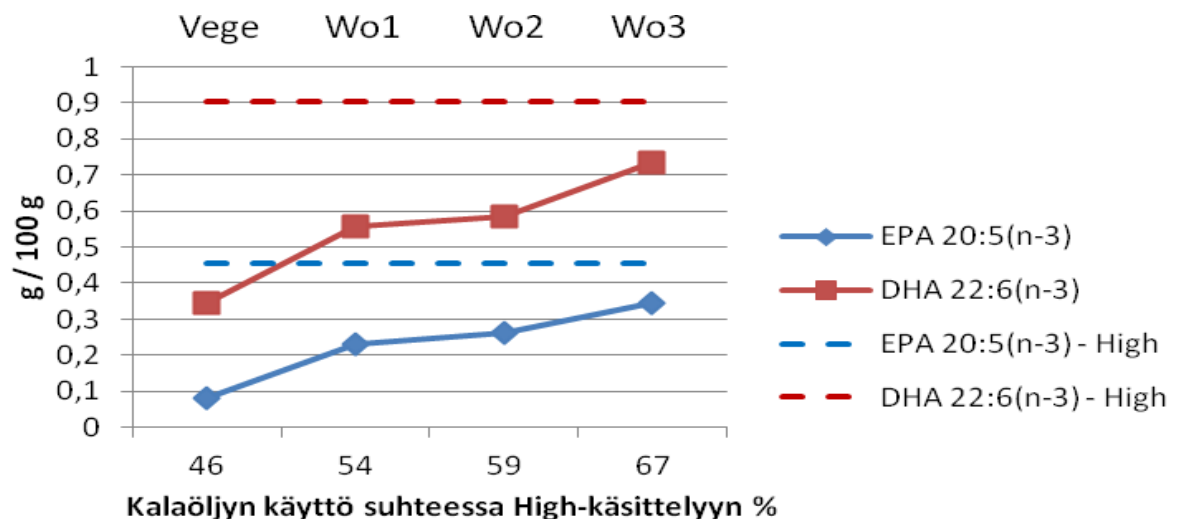
Kuva 9. Rasvahappojen määrät (g /100 g tuorepainoa) lihaksessa käsittelyittäin. Vege; korkea kasviöljypitoisuus, Wo1; Vege-ruokintaa seurannut lyhyt High-ruokintajakso kasvatuksen lopussa, Wo2; Vege-ruokintaa seurannut keskipitkä High-ruokinta kasvatuksen lopussa, Wo3; Vege-ruokintaa seurannut pisin High-ruokinta kasvatuksen lopussa, High; korkea kalaöljypitoisuus, EPA; 20:5(n-3), DHA; 22:6(n-3).



Kuva 10. Rasvahappoprofiilit lihaksessa eri käsittelyissä. Vege; korkea kasviöljypitoisuus, Wo1; Vege-ruokintaa seurannut lyhyt High-ruokintajakso kasvatuksen lopussa, Wo2; Vege-ruokintaa seurannut keskipitkä High-ruokinta kasvatuksen lopussa, Wo3; Vege-ruokintaa seurannut pisin High-ruokinta kasvatuksen lopussa, High; korkea kalaöljypitoisuus, EPA; 20:5(n-3), oranssilla, DHA; 22:6(n-3), vaalean sinisellä.

Kuvassa 11 ja taulukossa 6 on esitetty lihaksen EPA- ja DHA-pitoisuudet tuorepainoa kohti eri käsittelyissä. Kalan käyttämä kalaöljyn määrä rehussa oli kasviöljykäsittelyssä alle puolet (Vege, 46 %) verrokkiryhmän High käyttämästä määrästä (100 %, kuva 11). Washout -käsittelyissä käytetyn kalaöljyn määrä oli High-käsittelyyn verrattuna 54 - 67 %:a washout-käsittelyn kestosta riippuen. High-ryhmässä kala sai kasvunsa aikana kala- ja kasviöljyä suhteessa 70:30, kun suhde kasviöljykäsittelyssä oli päinvastainen eli noin 30:70. Kalojen lisäkasvut palautusrehuilla olivat karkeasti Wo1; 20 %, Wo2; 38 % ja Wo3; 53 % eli esimerkiksi Wo3-käsittelyssä kalat kasvoivat High-rehulla 1,6 kilosta 2,4 kiloon. Mikään washout-käsittelyistä ei ollut riittävä palauttamaan EPA:n ja DHA:n pitoisuuksia High-käsittelyä vastaaviksi, mutta EPA- ja DHA-pitoisuudet olivat kaikissa washout-käsittelyissä merkittävästi suuremmat kuin kasviöljykäsittelyssä.

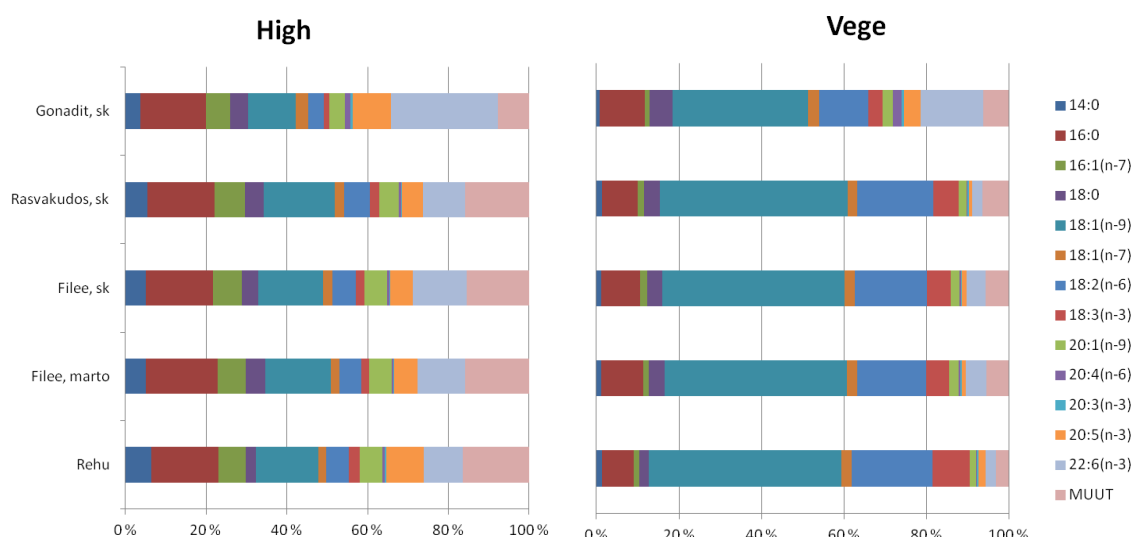
EPA:n ja DHA:n biologista merkitystä kalalle haluttiin tarkastella määrittämällä rasvahappoprofiilit myös varastorasvasta suolen ympäriltä sekä kypsivistä sukuruhasista eli gonadeista. Tulosten perusteella sekä lihaksen että rasvakudoksen rasvahappokoostumus heijastaa vahvasti rehun rasvahappokoostumusta (kuva 12). Sen sijaan gonadit näyttävät keräävän EPA:a ja DHA:ta, mikä viittaa pitkäketjuisten rasvahappojen tärkeään biologiseen merkitykseen kehittyvässä mätimunassa. Kaikki tutkitut High-kalojen kudokset sisälsivät enemmän EPA:aa ja DHA:ta verrattuna kalojen kudoksiin muissa käsittelyissä.



Kuva 11. Rasvahappojen, EPA (20:5(n-3), sininen viiva) ja DHA (22:6(n-3), punainen viiva), pitoisuus grammoina 100 grammassa lihasta, kun käytetyn kalaöljyn määrää nostettiin Vege-ruokinnan jälkeen eripituisissa Wo-käsittelyissä suhteessa High-ruokintaan (100 %, katkoviivat). Käsittelyt olivat Vege; korkea kasviöljypitoisuus koko kokeen ajan (n=5), Wo1; Vege-ruokintaa seurannut lyhyt High-ruokintajakso kasvatuksen lopussa (n=3), Wo2; Vege-ruokintaa seurannut keskipitkä High-ruokinta kasvatuksen lopussa (n=5) ja Wo3; Vege-ruokintaa seurannut pisin High-ruokinta kasvatuksen lopussa (n=4). Kontrollipitoisuudet on esitetty katkoviivoilla (High, n=4).

Taulukko 6. Rasvahappojen, EPA (20:5(n-3)) ja DHA (22:6(n-3)) pitoisuus grammoina 100 grammassa lihasta eri käsittelyissä. Taulukossa esitetään keskiarvot ja keskihajontoinen (StDev).

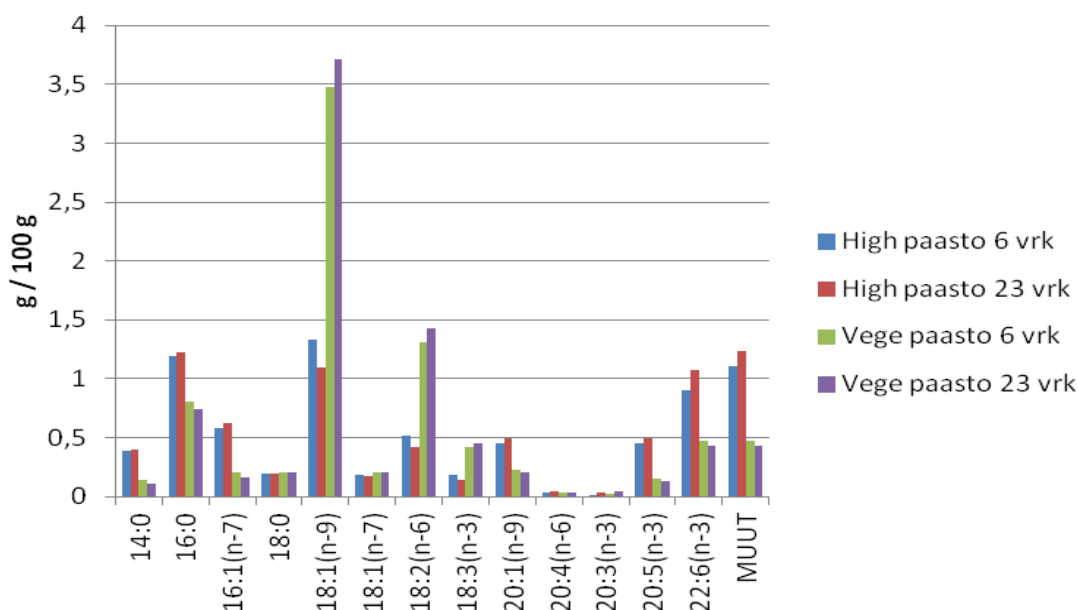
	Vege	Wo1	Wo2	Wo3	High
EPA	0,11	0,23	0,26	0,35	0,53
StDev	0,03	0,05	0,03	0,07	0,09
DHA	0,39	0,56	0,58	0,73	1,02
StDev	0,06	0,05	0,06	0,15	0,17
Yhteensä	0,50	0,79	0,84	1,08	1,55
n	3	3	6	4	3



Kuva 12. Marraskuussa teurastettujen sukukypsien kalojen (sk) sukurauhasten eli gonadien, rasvakudoksen, nahoitettujen fileiden ja martokalajien nahoitettujen fileiden suhteellinen rasvahappokoostumus verrattuna rehun koostumukseen. Kalojen määrä ryhmää kohden oli Vege, n=5; High, n=7; paitsi gonadeissa Vege, n=2 ja High n=3. Kuvassa EPA; 20:5(n-3), oranssilla ja DHA; 22:6(n-3), vaalean sinisellä.

3.2.3. Paastoajan vaikutus rasvakoostumukseen

Rasvahappojen valikoitua käyttöä energiaksi tutkittiin High- ja Vege-kaloilla, joita pidettiin pitkällä paastolla (23 vrk). Osa suolistorasvasta käytettiin paaston aikana energian tuotantoon ja perkuusaanto nousi paaston vaikutuksesta reilun prosenttiyksikön 87 %:iin. Lihaksen rasvapitoisuuden paastolla ei ollut merkittävää vaikutusta, mutta High-kalat näyttäsivät hyödyntävän energianlähteenä mieluummin muita kuin pitkäketjuisia omega-3-rasvahappoja, koska näiden rasvahappojen määrä oli pitkän paaston jälkeen jopa suurempi kuin lyhyen paaston (6 vrk) jälkeen (kuva 13). Rasvapitoisuuden tasaisuudesta johtuen merkittäviä eroja ei kuitenkaan havaittu.



Kuva 13. Eri rasvahappojen pitoisuus lihaksessa lyhyen (6 vrk) ja pitkän (23 vrk) paastojakson jälkeen 14 °C:ssa High- ja Vege-ryhmissä (g /100 g tuorepainoa, n=4). EPA 20:5(n-3) ja DHA 22:6(n-3).

3.3. Rehun öljykoostumuksen vaikutukset jalostuksen väli- ja lopputuotteissa

3.3.1. Raaka-aineen ominaisuudet jalostuksessa

Eri käsittelyjen, High, Low, ja Vege, kalayksilöitä seurattiin aina lopputuotteiksi saakka (kuva 14). Jalostuksen jokaisessa vaiheissa mitattiin tuotantomuuttujat siten, että hävikki sekä käänteisesti saanto, saatiin määritetyksi. Lopputuotetta saatiin kylmäsavuprosessissa noin 40 % kalan lähtöpainosta ja lämminsavutuotetta noin 49 %:a (taulukko 7 ja 8). Kalan koko ja sukukypsyys huomioitiin koeryhmien eroja analysoitaessa. Tällöin merkittävimmiksi eroiksi eri rehukäsittelyjen välillä jäivät perkuuhävikkien erot, jotka olivat suurimmat Vege-kaloilla, sitten High-kaloilla ja pienimmät Low-kaloilla. Vege-kaloilla suolipaketin mukana poistui siis suurempi osa kalan painosta kuin toisissa käsittelyissä. Low-kalojen fileointihävikki oli kuitenkin suurin eli ruoto, selkäevä, pyrstö ja pää muodostivat suuremman osan kalan massasta suhteessa lihakseen kuin toisissa käsittelyissä. Sen sijaan trimmaushävikki oli Low-kaloilla pienin (kun kalan koko ja sukukypsyys huomioitiin) eli rasvakertymien poistoon ei haaskaantunut raaka-ainetta.



Kuva 14. Kylmä- ja lämminsavukalan jalostus (kuvat Susanna Airaksinen).

Lämminsavustuksessa hävikki oli Low-kaloilla suurin. Tämä selittynee rasva- ja vesipitoisuuden käänteisellä suhteella. Low-kaloilla on suurin vesipitoisuus, jolloin myös veden haihtuminen korkeassa lämpötilassa on niillä suurinta. Samaa ei havaittu kylmäsavustusprosessissa, jossa hävikki Low-ryhmässä oli jopa pienempää kuin toisissa ryhmissä.

Taulukko 7. Hävikit siivutetun kylmäsavutuotteen jalostuksessa eri käsittelyryhmissä. Kolmella ensimmäisellä rivillä ilmoitetaan hävikki suhteessa edelliseen vaiheeseen ja kolme alemmalla ilmoitetaan hävikki suhteessa pyöreään kalaan. Arvot ovat kunkin käsittelyn keskiarvoja ja sisältävät sekä martoja että sukukypsiä kaloja (n=45).

KYLMÄSAVU Käsittely	Perkuu hävikki 1	Fileointi hävikki 2	Trimmaus hävikki 3	Ruodonpoisto hävikki 4	Nahotus hävikki 5	Savustus hävikki 6	Siivutus hävikki 7
High	17,1	23,3	9,6	3,0	11,5	11,5	8,3
Low	13,2	24,8	10,4	3,2	12,3	13,8	10,3
Vege	17,3	22,3	11,3	3,1	11,3	11,4	8,2
Keskiarvo	15,9	23,4	10,4	3,1	11,7	12,2	8,9
High	17,1	36,5	43,0	44,7	51,0	56,6	60,2
Low	13,2	34,7	41,5	43,3	50,3	57,0	61,4
Vege	17,3	35,7	43,0	44,7	50,9	56,5	60,0
Keskiarvo	15,9	35,6	42,5	44,2	50,7	56,7	60,5

Taulukko 8. Hävikit lämminsavutuotteen jalostuksessa eri käsittelyryhmissä. Kolmella ensimmäisellä rivillä ilmoitetaan hävikki suhteessa edelliseen vaiheeseen ja kolme alemmalla ilmoitetaan hävikki suhteessa pyöreään kalaan. Arvot ovat kunkin käsittelyn keskiarvoja ja sisältävät sekä martoja että sukukypsiä kaloja (n=54).

LÄMMINSAVU Käsittely	Perkuu hävikki 1	Fileointi hävikki 2	Trimmaus hävikki 3	Ruodonpoisto hävikki 4	Savustus hävikki 5
High	16,8	23,0	9,2	2,7	12,1
Low	13,9	24,1	8,7	2,8	15,7
Vege	17,9	23,1	9,0	2,7	13,6
Keskiarvo	16,2	23,4	9,0	2,7	13,8
High	16,8	35,8	41,8	43,4	50,2
Low	13,9	34,6	40,3	42,0	51,1
Vege	17,9	36,8	42,5	44,1	51,7
Keskiarvo	16,2	35,8	41,5	43,1	51,0

Suojakaasupakattuna lämminsavukalan hävikki kaikissa rehukäsittelyissä oli pienempi kuin vakuumpakattuna (taulukko 9). Low-ryhmän hävikki oli pienin vakuumpakkauksessa ja High-ryhmän suojakaasupakkauksessa, jossa kasviöljy näyttäisi johtavan suurempaan hävikkiin.

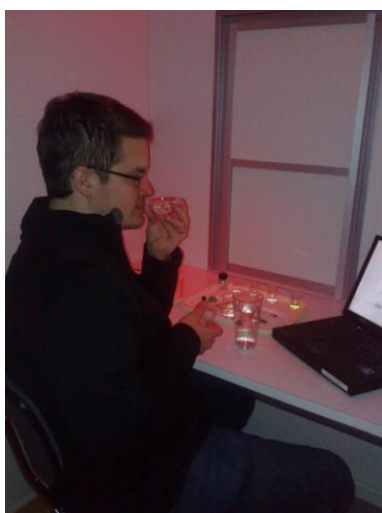
Taulukko 9. Lämminsavukalan hävikki (%) säilytyksen aikana pakattuna vakuumi- tai suojakaasupakkaukseen. Eri kirjain osoittaa merkitsevää eroa käsittelyjen välillä.

Käsittely	Vakuumipakkaus		Suojakaasupakkaus		n
	Mean	Std	Mean	Std	
High	2,46 ^a	1,07	0,33 ^a	0,62	40
Low	1,30 ^b	1,27	0,61 ^{ab}	0,77	40
Vege	2,49 ^a	1,15	0,59 ^b	0,59	40

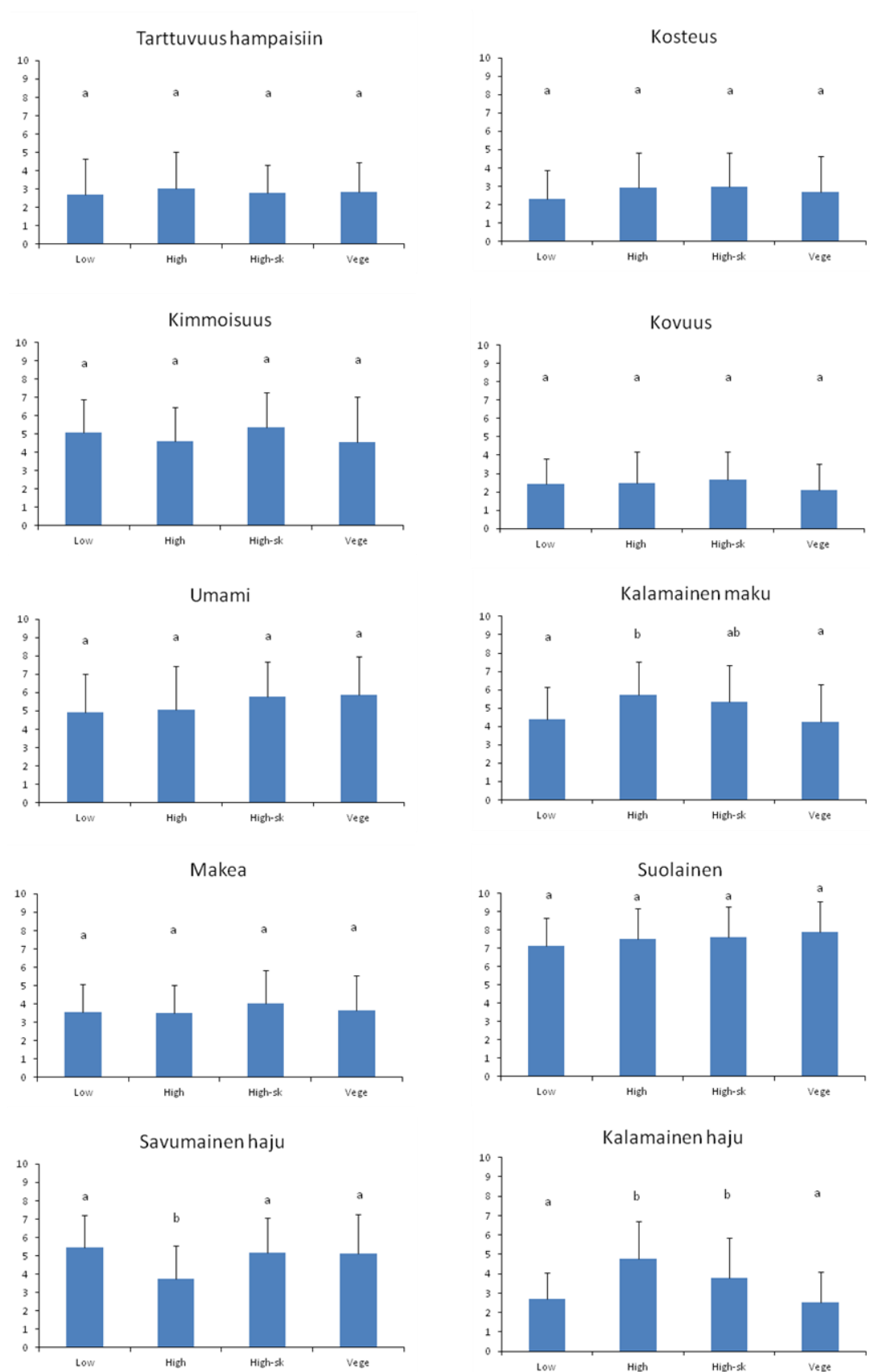
3.3.2. Lopputuotteen aistittava laatu

Kustakin rehuksittelystä, High, Low, Vege, arvioitiin kylmäsavutuotteita aistinvaraisesti (kuva 15) koulutetun raadin kanssa aistittavan laadun laboratoriossa (ISO 8589). Näytteistä määritettiin ns. flavoriprofiilit.

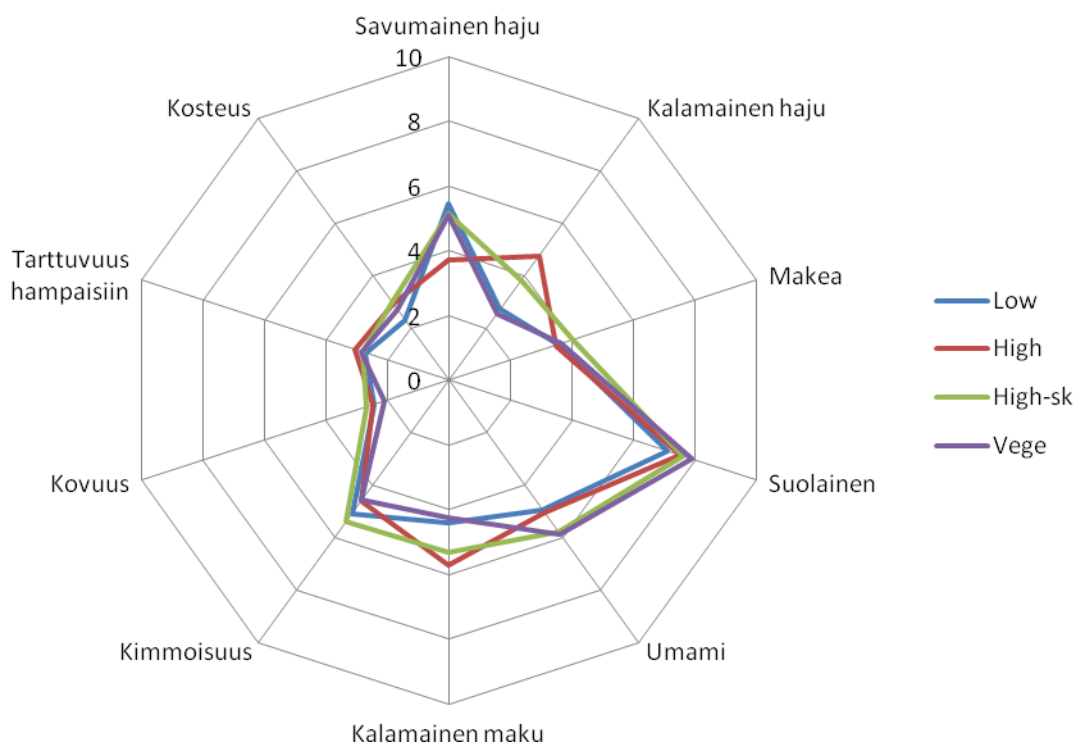
Näytteiden flavoriprofiili sisälsi kaksi hajuominaisuutta, neljä makuominaisuutta ja neljä rakenneominaisuutta ja kullekin ominaisuudelle valittiin koulutuksen aikana sopivat vertailunäytteet arvioinnin tueksi. Kuvassa 16 näytetään kylmäsavukirjoloihen ominaisuuksien voimakkuudet hajontoineen. High-käsittely erosi muista näytteistä eniten savumaisen hajun, kalamaisen hajun ja suun kautta aistitun kalamaisen flavorin osalta. Käytännössä savumainen haju oli High-käsittelyssä heikompi kuin muissa, joskin sukukypsä High-kala (High-sk) poikkesi marrosta High-kalasta. Kalamainen haju ja flavori korostuivat High-näytteessä muihin nähden. Kalamaisen hajun ja flavorin vertailunäytteenä oli Möllerin kalanmaksäöljy. Tämä tulos on nähtävissä myös kuvassa 17, jossa vertaillaan näytteiden flavoriprofiileja toisiinsa.



Kuva 15. Lämminsavunäytteiden arviointitilanne aistilaboratoriossa (kuva Mari Sandell).



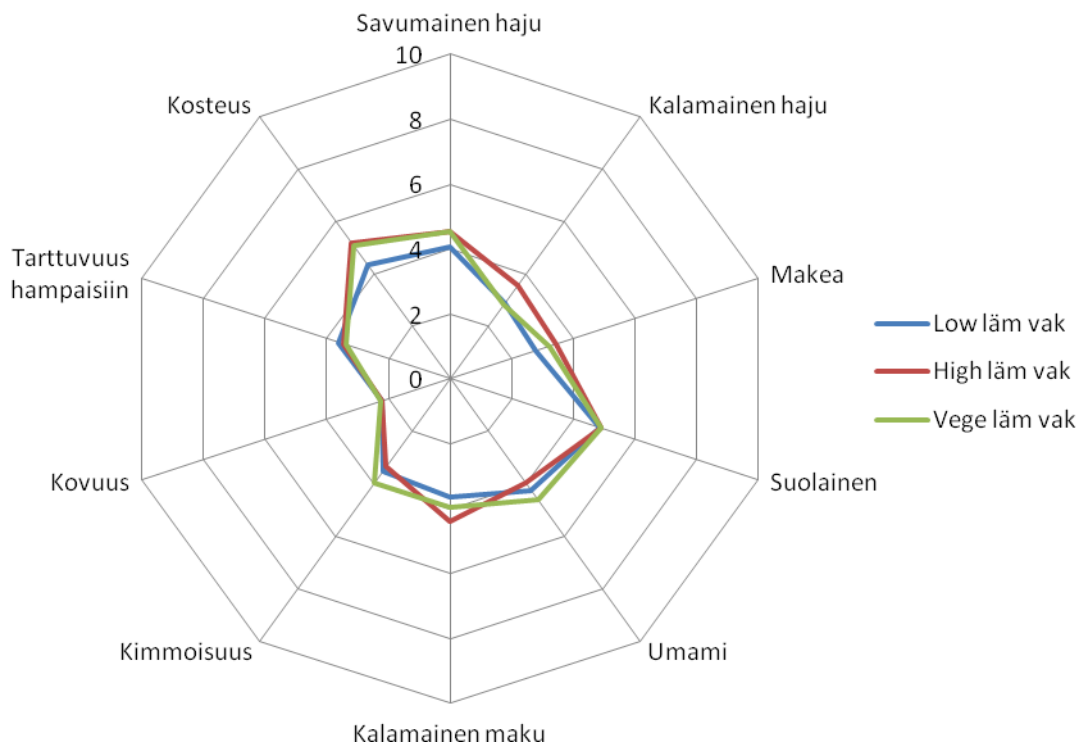
Kuva 16. Flavoriprofilissa arvioidut ominaisuudet ja arviointi tulokset kylmäsavukirjolohella (n = 3 x 12). Käsitelyt olivat Low; alhainen rasva- ja korkea kalaöljypitoisuus, High; korkea rasva- ja kalaöljypitoisuus, High-SK; korkea rasva- ja kalaöljypitoisuus, sukukypsä kala; Vege; korkea kasviöljypitoisuus.



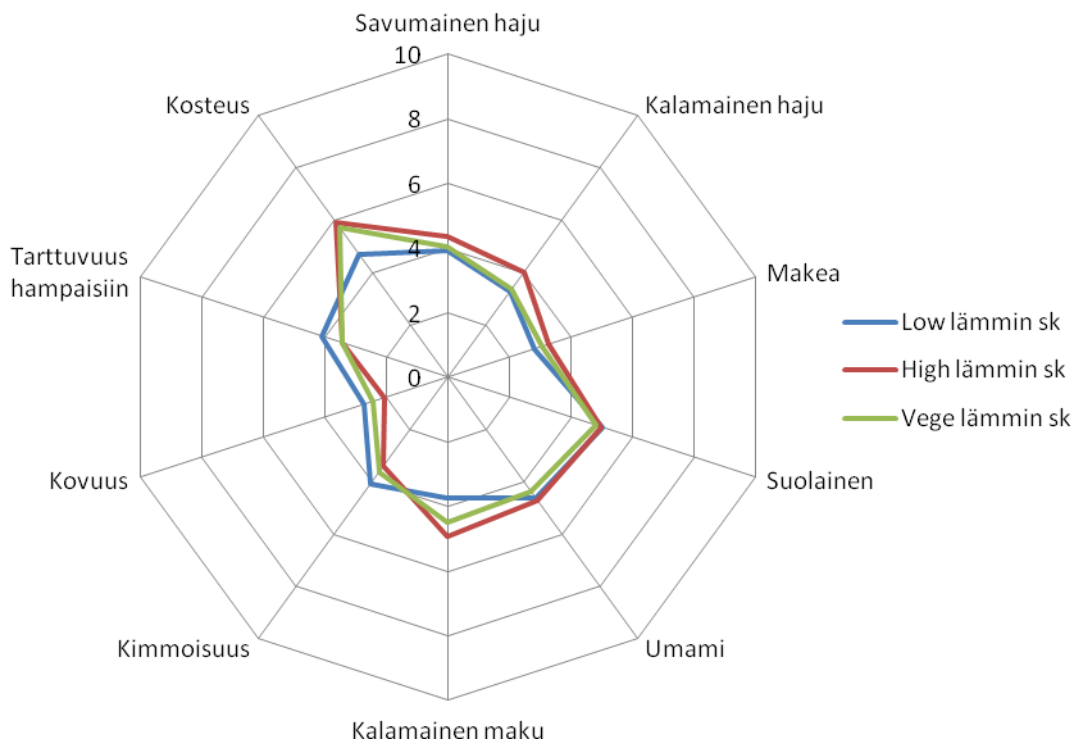
Kuva 17. Siivutetun kylmäsavukalan flavoriprofiilit (n = 3 x 12). Käsittelyt olivat Low; alhainen rasva- ja korkea kalaöljypitoisuus, High; korkea rasva- ja kalaöljypitoisuus, High-sk; korkea rasva- ja kalaöljypitoisuus, sukukypsä kala; Vege; korkea kasviöljypitoisuus.

Lämminsavunäytteistä osa oli pakattu vakuumiin ja osa suojakaasuun. Pakkaustekniikalla ei ollut vaikutusta näytteiden flavoriprofiiliin. Kasvatusrehun vaikutus lämminsavunäytteiden flavoriprofiiliin nähdään kuvissa 18 ja 19. Käytännössä käsittelyjen välillä ei ollut tilastollisesti merkittäviä eroja, vaikka Low-näytteessä kosteus oli miedompi. Kosteudella tarkoitetaan tuntoaistimusta ja kalapalasta painettaessa irtoavan nesteen määrää suussa.

Tutkimuksen perusteella käytetty rehu ei vaikuta merkittävästi lopputuotteen rakenne- ja makuominaisuuksiin. Kalamainen haju ja maku korostuvat High-käsittelyssä kylmäsavunäytteissä, mutta lievemmin lämminsavunäytteissä. Savumaisuus aistittiin miedommin lämminsavuisissa kuin kylmäsavunäytteissä.



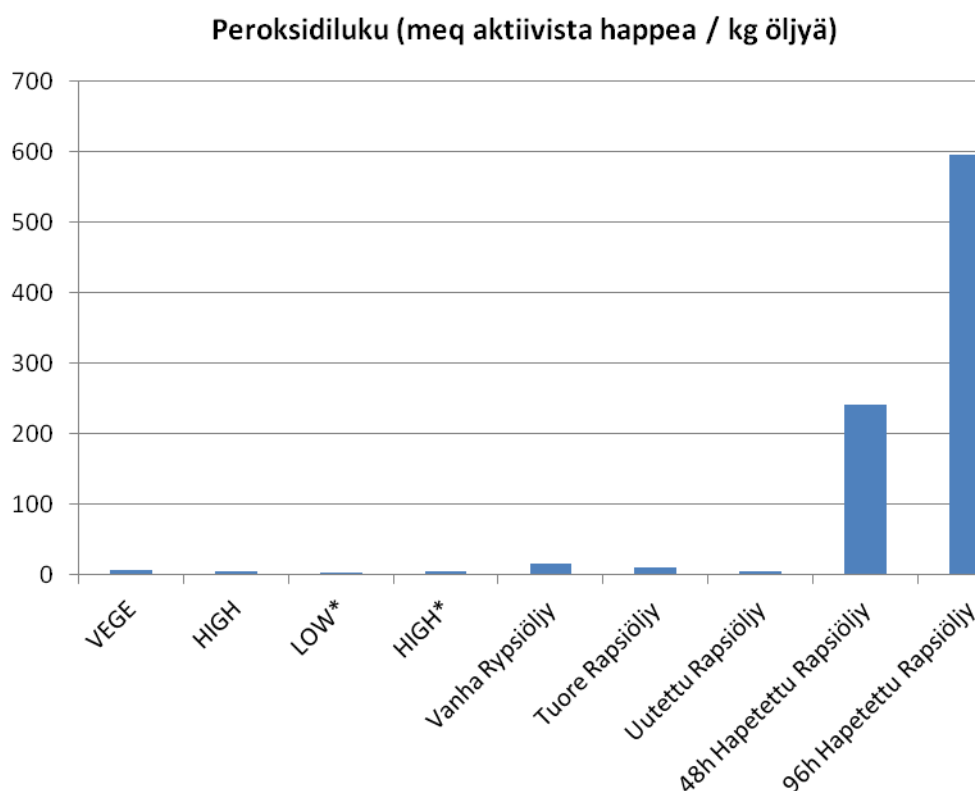
Kuva 18. Vakuumpakatun (vak) lämminsavukalan flavoriprofiili. Käsittelyt olivat Low; alhainen rasva- ja korkea kalaöljypitoisuus, High; korkea rasva- ja kalaöljypitoisuus, Vege; korkea kasviöljypitoisuus.



Kuva 19. Suojakaasuun pakatun (sk) lämminsavukalan flavoriprofiili. Käsittelyt olivat Low; alhainen rasva- ja korkea kalaöljypitoisuus, High; korkea rasva- ja kalaöljypitoisuus, Vege; korkea kasviöljypitoisuus.

3.3.3. Rehun öljylähteen vaikutus säilyvyyteen - Rasvahappojen hapettuminen

Rasvahappojen hapettuminen on keskeinen kalan säilyvyyttä, aistittavaa laatua sekä terveellisyyttä heikentävä tekijä. Hapettumisessa syntyviä primaarisia (peroksidit) sekä sekundaarisia yhdisteitä (konjugoituneet dieenit ja trieenit) mitattiin eri rehuilla ruokittujen kalojen lihaksesta. Kirjolohinäytteiden peroksidiluku (PL) oli hyvin pieni (kuva 20). High- ja Vege-ryhmien keskiarvot olivat n. 6 milliekvivalenttia aktiivista happea/kg öljyä. Määrä oli vähäisempi kuin tuoreessa rapsiöljyssä (PL n. 11 meqO₂/kg) ja jääkaapissa avaamattomana vuoden ajan säilytetyssä rypsiöljyssä (PL n. 16,5 meqO₂/kg). Lipidien uuttoprosessi vähensi hieman öljyn hydroperoksidien määrää (PL n. 6 meqO₂/kg), mikä on mahdollisesti pienentänyt kirjolohinäytteiden peroksidilukua. Pakastimessa (-80 °C) säilytettyjen vanhojen näytteiden PL (kuva 20, Low* ja High*) ei ollut suurempi kuin tuoreissa näytteissä (Low*: 3,5 meqO₂/kg ja High*: 5,8 meqO₂/kg). Varta vasten hapetetuissa öljynäytteissä peroksidiluvut olivat huomattavan paljon suuremmat (48 tuntia hapetettu: PL n. 240 meqO₂/kg ja 96 tuntia hapetettu: PL n. 600 meqO₂/kg).

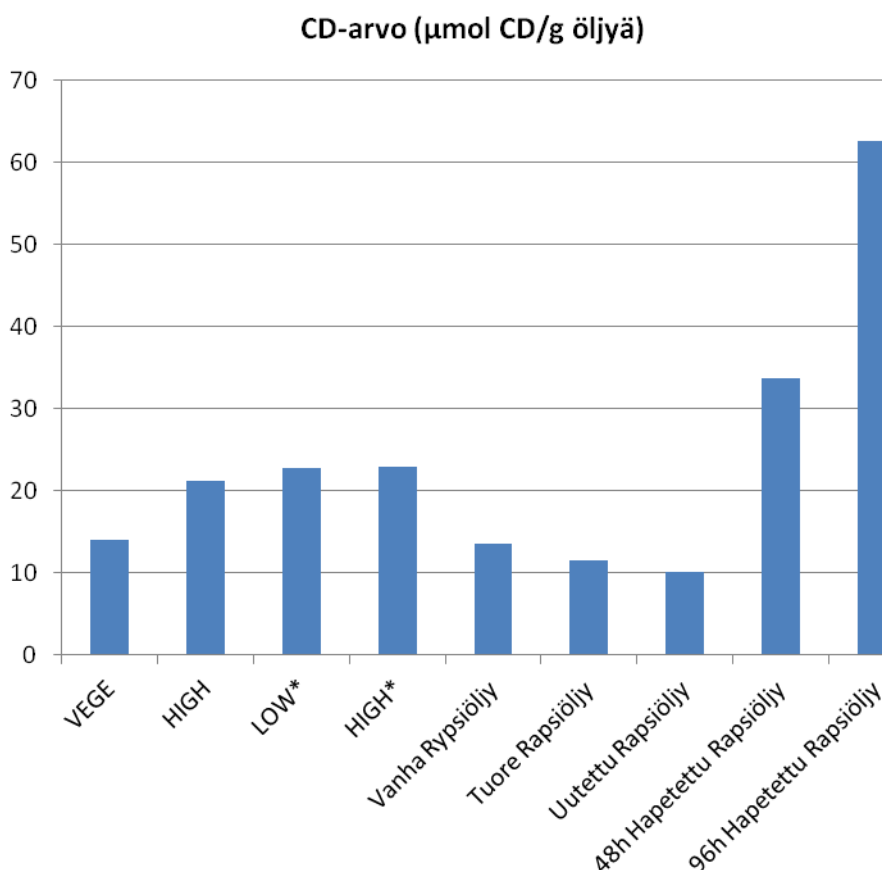


Kuva 20. Kirjolohi- ja öljynäytteiden peroksidiluku. *-merkityt näytteet on säilytetty 9kk -80 °C pakastimessa.

Konjugoituneita dieenejä tai trienejä määritettiin vähäisiä määriä (kuva 21). Konjugoituneita dieeni-määrä oli High-ryhmässä (CD luku 5,3 $\mu\text{mol/g}$) n. 50 % suurempi kuin Vege-ryhmässä (CD-luku 3,5 $\mu\text{mol/g}$) eikä niiden määrä lisääntynyt pitkän pakkasäilytyksen aikana (kuva 21, Low* ja High*). Konjugoituneita trienejä ei kirjolohinäytteistä juuri löytynyt, eivätkä näytteet eronneet merkittävästi toisistaan (High ja Vege n. 3 $\mu\text{mol/g}$). Alhaiset hapettuneiden yhdisteiden pitoisuudet selittynevät sillä, että näytteet olivat pakastettaessa tuoreita ja niitä oli säilytetty -80 °C pakastimessa. Lisäksi kirjolohen lihaskudoksessa on paljon astaksantiinia, voimakasta antioksidanttia, joka suojelee rasvoja

hapettumiselta. Toisaalta astaksantiini on UV-alueelle ulottuvan absorbanssiprofiilinsa vuoksi voinut vaikuttaa absorbanssimittauksiin, kun hapettuneiden lipidien osuus näytteissä oli hyvin pieni.

Varta vasten hapetetuissa öljynäytteissä oli konjugoituneita trienejä sitä enemmän mitä kauemmin niitä oli hapetettu, mutta määrä oli silti hyvin pieni. Hapettumista kuvaavat tunnusluvut on esitetty taulukossa 10.



Kuva 21. Kirjolohi ja öljynäytteiden konjugoituneiden dieenien määrä. *-merkittyjä näytteitä on säilytetty 9kk - 80 °C pakastimessa.

Taulukko 10. Hapettumista kuvaava peroksidiluku (peroksidit) ja CD-luku (konjugoituneet dieenit).

Näyte	CD-value	StDev	n	Peroksidiluku	StDev	n
VEGE	13,97	4,15	8	6,43	1,91	8
HIGH	21,16	1,14	8	6,20	2,65	8
LOW*	22,73	0,65	4	3,51	0,76	2
HIGH*	22,81	0,78	8	5,84	2,27	4
Vanha Rypsiöljy	13,44	0,09	2	16,55	0,74	2
Tuore Rapsiöljy	11,42	0,16	2	10,83	1,70	2
Uutettu Rapsiöljy	10,09	0,29	4	4,86	1,35	4
48h Hapetettu Rapsiöljy	33,67	0,58	2	241,84	20,11	2
96h Hapetettu Rapsiöljy	62,58	2,64	2	596,13	23,01	2

3.3.4. Vierasaineiden pitoisuudet kirjoloissa

Kaikilla tutkituilla rehuilla kasvatetut kirjolohet alittivat selkeästi EU Komission antamat maksimi raja-arvot kalalle ja kalatuotteille. Polybromatuille difenyylieteereille (PBDE) ei ole Komission asettamia raja-arvoja. Raja-arvot on annettu asetuksessa N:o 1259/2011 ja ne ovat seuraavat:

WHO_{PCDD/F-TEQ₂₀₀₅}; 3,5 pg/g tuorepainoa kohden

WHO_{PCDD/F-PCB-TEQ₂₀₀₅}; 6,5 pg/g tuorepainoa kohden

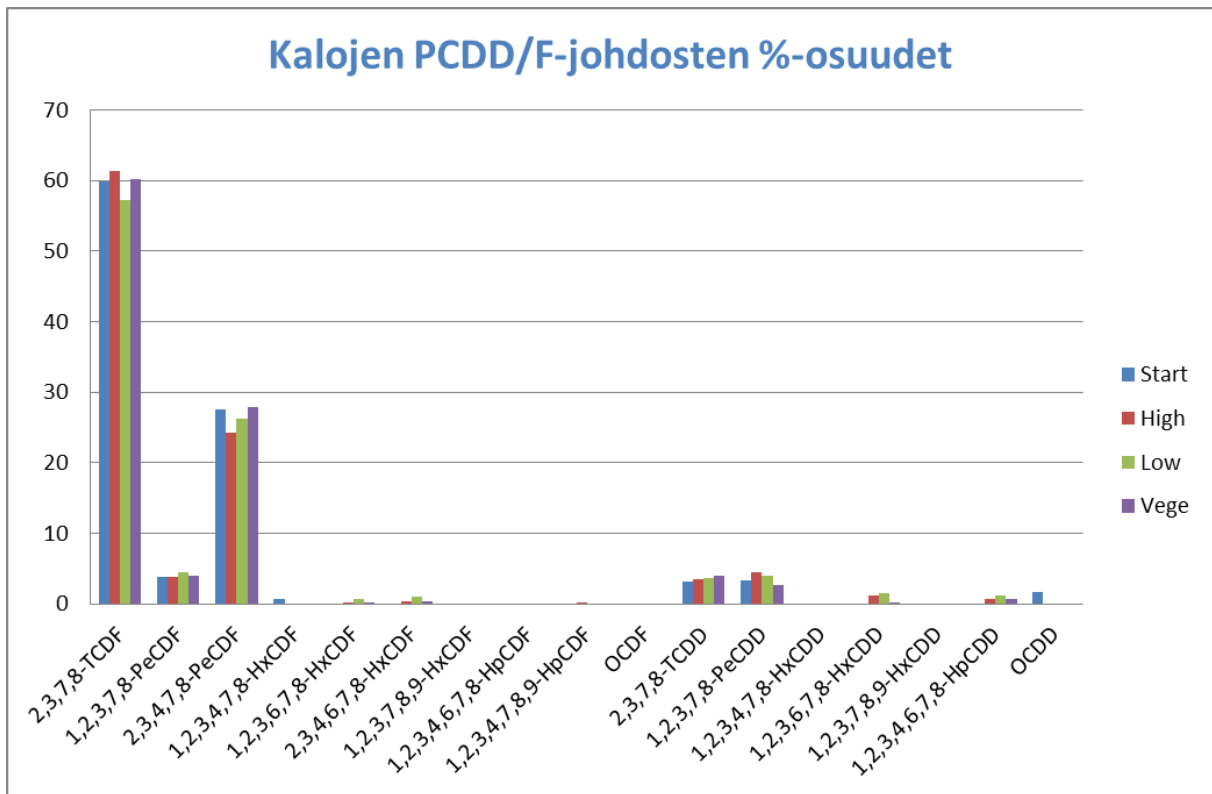
Summa ICES PCB; 75 ng/g tuorepainoa kohden

Eri rehuilla kasvatettujen kirjolohien vierasainepitoisuudet pienenevät suunnassa High->Low->Vege ja erot olivat tilastollisesti merkitseviä. Kasvatuksen lähtötilanteen (High, ensimmäisen kasvukauden syksy) sekä kolmella eri rehulla kasvatettujen kirjolohien vierasainepitoisuudet tuorepainoa kohden (High, Low, Vege) toisen kasvukauden lopussa on esitetty taulukossa 11. Verrattuna lähtötilanteeseen ainoastaan High-rehulla syötettyjen kirjolohien vierasainepitoisuudet kasvoivat kokeen aikana toisen kasvukauden loppuun mennessä. High-rehulla, jossa oli Low-rehuun verrattuna noin kaksinkertainen määrä kalaöljyä, kertyi kasvatettuun kirjoloheen vierasaineita kaksinkertainen pitoisuus. Toisaalta kalan kasvu kompensoi vierasainepitoisuuksien kasvua tuorepainoa kohden, sillä Low-rehulla kasvatetuissa kirjoloissa pitoisuudet pysyivät samalla tasolla kuin lähtötilanteen kirjoloissa. Vege-rehulla kasvatetuissa kirjoloissa pitoisuudet pienenevät tuorepainoa kohden laskettuna.

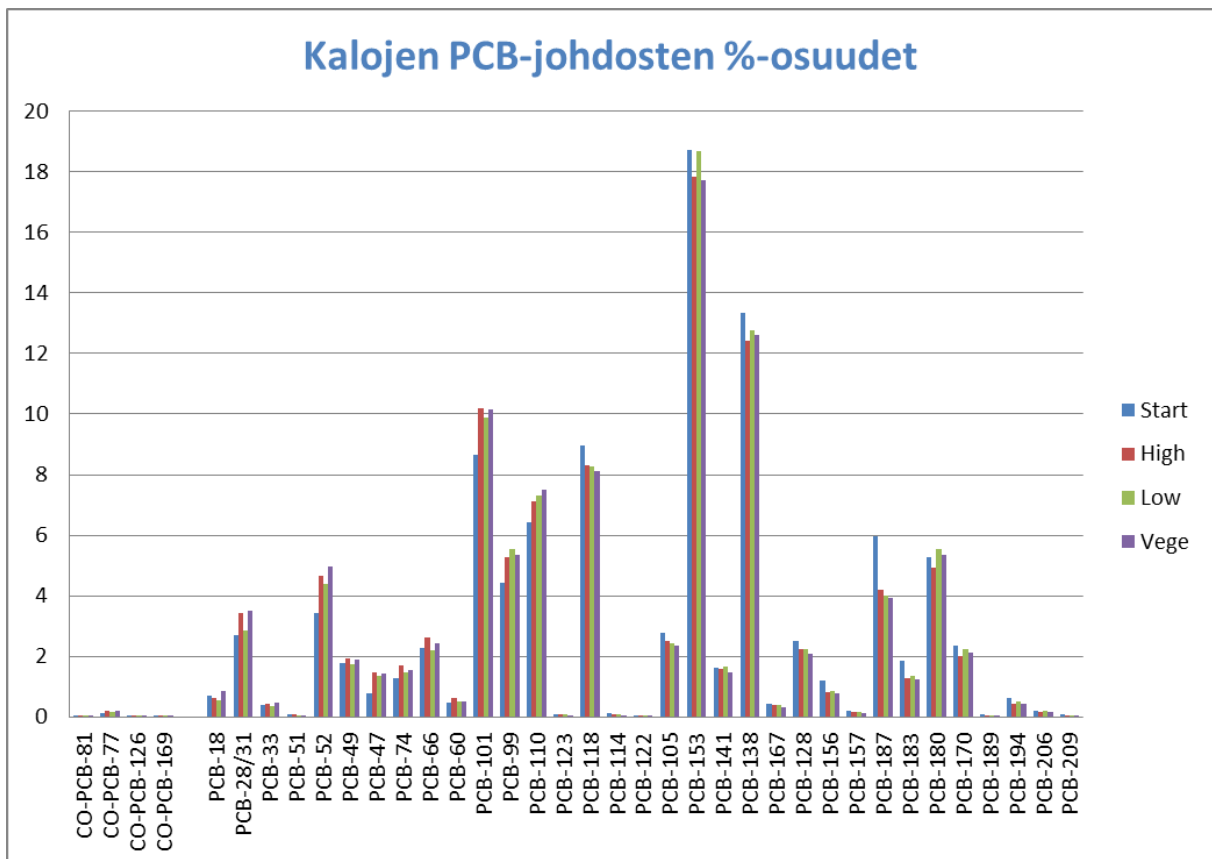
Taulukko 11. Kirjolohien vierasainepitoisuudet (keskiarvo ja *minimi-maksimi*), eli PCDD/F-toksinen ekvivalenttipitoisuus (WHO_{PCDD/F-TEQ₂₀₀₅}), PCDD/F- ja PCB-yhdisteiden yhdistetty toksinen ekvivalenttipitoisuus (WHO_{PCDD/F-PCB-TEQ₂₀₀₅}), indikaattori-PCB-yhdisteiden summapitoisuus (ICES PCB) sekä PBDE-yhdisteiden summapitoisuus, tuorepainoa kohden lähtötilanteessa (n=3) ja kasvatuskokeen päättyessä eri rehuilla (n=6).

	Lähtötilanne	High	Low	Vege
WHO _{PCDD/F-TEQ₂₀₀₅} , pg/g tp.	0,14 (0,11-0,16)	0,26 (0,15-0,33)	0,12 (0,095-0,14)	0,093 (0,057-0,11)
WHO _{PCDD/F-PCB-TEQ₂₀₀₅} , pg/g tp.	0,47 (0,37-0,55)	0,86 (0,48-1,11)	0,40 (0,32-0,47)	0,28 (0,17-0,36)
ICES PCB, ng/g tp.	3,9 (3,4-4,6)	6,7 (3,9-8,8)	3,5 (2,8-4,0)	2,4 (1,4-3,1)
Summa PBDE, ng/g tp.	0,45 (0,42-0,50)	0,83 (0,48-1,0)	0,34 (0,27-0,41)	0,23 (0,15-0,29)

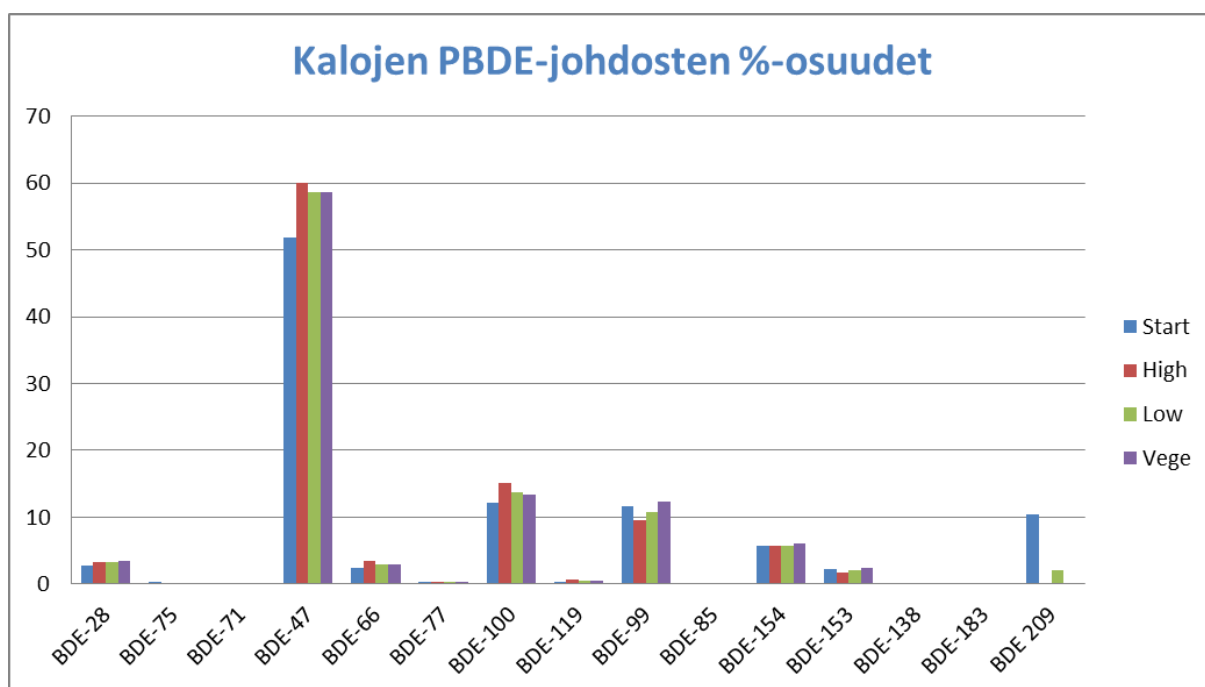
Kirjoloissa eri vierasaineryhmien profiilit olivat hyvin samankaltaisia (kuvat 22-24). Esimerkiksi Vege-rehussa havaittu hepta- ja oktaklooratun dioksiinin suhteellisen suuri osuus (kuva 5) ei näy kyseisellä rehulla kasvatetussa kirjoloissa. Tämä johtuu näiden johdosten heikosta kyvystä kertyä kirjoloheen. Profiilikuvien perusteella kasvatuksessa käytetty rehu ei vaikuta laadullisesti vierasainealtistukseen, joka välittyy kirjolohien kautta.



Kuva 22. Kirjoloihen PCDD/F-johdosten prosenttiosuudet PCDD/F-yhdisteiden kokonaispitoisuudesta.



Kuva 23. Kirjoloihen PCB-johdosten prosenttiosuudet PCB-yhdisteiden kokonaispitoisuudesta.



Kuva 24. Kirjolojen PBDE-johdosten prosenttiosuudet PBDE-yhdisteiden kokonaispitoisuudesta.

Nahallisten ja nahattomien kirjolohifileiden (High) vierasainepitoisuudet tuorepainoa kohden on esitetty taulukossa 12. Aikaisemmissa tutkimuksissa nahattomien fileiden on havaittu sisältävän vähemmän vierasaineita verrattuna nahallisiin fileisiin. Vastoin ennako-odotuksia tässä tutkimuksessa samoista kirjolohista otetut nahalliset ja nahattomat fileet eivät eronneet toisistaan vierasainepitoisuuksien osalta.

Taulukko 12. Kirjolojen vierasainepitoisuudet (keskiarvo ja *minimi-maksimi*), eli PCDD/F-toksinen ekvivalenttipitoisuus ($WHO_{PCDD/F-TEQ_{2005}}$), PCDD/F- ja PCB-yhdisteiden yhdistetty toksinen ekvivalenttipitoisuus ($WHO_{PCDD/F-PCB-TEQ_{2005}}$), indikaattori-PCB-yhdisteiden summapitoisuus (ICES PCB) sekä PBDE-yhdisteiden summapitoisuus, tuorepainoa kohden nahallisessa ja nahattomassa fileessä kasvatuksen päättyessä High-ryhmässä (n=10).

	Nahaton-file	Nahallinen-file
$WHO_{PCDD/F-TEQ_{2005}}$, pg/g tp.	0,32 (0,29-0,37)	0,33 (0,29-0,36)
$WHO_{PCDD/F-PCB-TEQ_{2005}}$, pg/g tp.	1,0 (0,92-1,2)	1,1 (0,97-1,1)
ICES PCB, ng/g tp.	8,2 (7,1-10)	8,5 (7,4-9,3)
Summa PBDE, ng/g tp.	0,98 (0,87-1,1)	0,99 (0,88-1,1)

3.4. Kasvatettujen kirjolohien vierasaine- ja rasvahappovertailua

Kala on erinomaista ravintoa, joka sisältää runsaasti useita terveydelle edullisia ravintoaineita kuten monityydyttymättömiä rasvahappoja, korkealaatuista proteiinia, D- ja B₁₂-vitamiineja, seleeniä ja jodia. Valtion ravitsemusneuvottelukunta suosittelee kala-aterian syömistä vähintään kaksi kertaa viikossa kalalajeja vaihdellen (Valtion ravitsemusneuvottelukunta 2005).

Toisaalta kala on tärkeä pysyvien ympäristömyrkkujen lähde varsinkin Suomessa. Kuluttaja saattaa mieltä, kannattaako kalaa syödä sen sisältämien terveydelle edullisten ravintoaineiden vuoksi, vaikka samalla altistuu terveydelle mahdollisesti haitallisille vierasaineille. Erityisesti odottavat äidit ja pienten lasten vanhemmat ovat herkkiä reagoimaan elintarvikkeiden ympäristömyrkkypäilyihin.

Tässä kappaleessa verrataan eri rehuseoksilla kasvatettujen kirjolohien terveellisyysnäkökohtia ottaen huomioon sekä kaloihin kasvatuksen aikana kerääntyneiden vierasaineiden pitoisuudet että tärkeimpien pitkäketjuisten monityydyttymättömien omega-3-rasvahappojen määrät.

3.4.1. Kirjolohien vierasaineet, PCDD/F-, PCB-¹ ja PBDE-yhdisteet²

EU on toiminut aktiivisesti pienentääkseen alueensa väestön altistumista elintarvikkeiden ja rehujen sisältämille vierasaineille, joilla voi olla haitallisia vaikutuksia ihmisen terveydelle³. EU:ssa on mm. asetettu (ja niitä on useasti uudistettu) elintarvikkeiden ja rehujen PCDD/F- ja PCB-yhdisteille sallitut enimmäispitoisuusrajat (EY/1259/2011 ja EY/277/2012). Lisäksi EU:ssa on tehty PCDD/F- ja PCB-yhdisteille riskinarvio, jonka perusteella on arvioitu siedettävä viikkosaanti 14 pg WHO-TEQ/ruumiinpainokilo (kg r.p.) (SCF, 2001).

¹ Dioksiini- ja furaanijohdoksia (PCDD/F) on teoreettisesti 210 kpl, joista 17 kpl on myrkyllisiä ja erittäin pysyviä ja siten erityisen mielenkiinnon kohteena. Polykloorattuja bifenyylejä (PCB) on 209 kpl, joista 12 kpl on toksisilta ominaisuuksiltaan samankaltaisia kuin myrkylliset PCDD/F-yhdisteet. PCB-yhdisteitä on käytetty runsaasti eristeaineina muuntajissa ja kondensaattoreissa, sekä mm. saumaustaasteissa, maaleissa ja liimoissa. PCDD/F-yhdisteitä ei ole valmistettu tarkoituksellisesti, mutta niitä muodostuu kloorauksen ja epätäydellisen palamisen yhteydessä esimerkiksi jätteenpoltossa. Nykyisin merkittävimmät PCDD/F-yhdisteiden lähteet ovat jätteenpolto, energiatuotanto, metalliteollisuus ja hajalähteet, joista kotitalouksien pienpolttokin voi olla merkittävä.

² Polybromattuja difenyyliettereitä (PBDE) käytetään palonestoaineina muoveissa, sisustustekstiileissä, pehmustemateriaaleissa sekä sähkö- ja elektroniikkatuotteissa. Yhdisteet voivat vapautua ympäristöön tuotteiden valmistuksen, varastoinnin, käytön tai hävittämisen aikana. Palonestoon käytetyistä teknisistä seoksista penta-BDE koostuu lähinnä kuudesta johdoksesta (BDE 28, 47, 99, 100, 153 ja 154) ja okta-BDE on BDE 183 sekä muiden 6-9 bromia sisältävien johdosten seos. Näiden kahden seoksen käyttö ja tuonti EU-alueelle on kielletty, mutta täysin bromattua, deca-BDE:tä (BDE 209), joka sisältää jonkin verran myös nona-BDE:tä, saa vielä käyttää.

³ Dioksiini- ja furaanijohdosten, PCB-yhdisteiden ja palonestoaineiden eniten huolta aiheuttavia haittavaikutuksia ovat erilaiset sukuelinten, hampaiden ja luuston kehityshäiriöt, hormonaaliset- ja hermostovaikutukset sekä myös syöpäriski. Edellä mainittuja vaikutuksia on osoitettu koe-eläintutkimuksissa, mutta epidemiologisissa ihmistutkimuksissa ei aina ole pystytty vahvistamaan koe-eläintutkimuksista saatua näyttöä. Vierasaineisiin on kuitenkin syytä suhtautua varovaisuusperiaatteella.

Suomalaiset altistuvat näille ympäristöperäisille vierasaineille pääsääntöisesti kalaa syömällä. Päivittäinen PCDD/F- ja PCB-yhdisteiden saanti ravinnosta on arvioitu olevan noin 114 pg WHO_{PCDD/F-PCB}-TEQ, joka vastaa 60 kg henkilöllä 12 pg WHO-TEQ/kg r.p. Lähes 90 % PCDD/F- ja PCB-yhdisteiden saannista tulee kalasta ja kasvatetun kotimaisen kalan osuuden on arvioitu olevan tästä noin 9 % (Hallikainen ym., 2006). Itämeren rasvaiset kalat sisältävät eniten näitä vierasaineita, kun taas kasvatettu kala on suhteellisen puhdasta johtuen lähinnä EU:n tiukasta elintarvikkeiden ja rehujen vierasainelainsäädännöstä ja sen valvonnasta. Taulukossa 13 on joidenkin Itämereltä pyydettyjen kalojen ja aikaisemmin tutkittujen kasvatettujen kirjolohien sekä siikojen PCDD/F- ja PCB-pitoisuuksia sekä tämän tutkimuksen yhteydessä mitatut pitoisuudet.

Taulukko 13. Itämeren kalojen WHO_{PCDD/F}- ja WHO_{PCDD/F-PCB}-TEQ-pitoisuuksia (pg/g tp) (Hallikainen ym., 2011).

Kalalaji	WHO _{PCDD/F} -TEQ ₂₀₀₅	WHO _{PCDD/F-PCB} -TEQ ₂₀₀₅
Pyydetty lohi	4,3	11
Silakka	3,5	5,4
Kuha	0,6	1,4
Hauki	0,97	2,2
Ahven	0,74	2,4
Kasvatettu kirjolohi	0,37	1,3
Kasvatettu siika	0,36	1,3
* High-rehu kirjolohi	0,26	0,86
* Low-rehu kirjolohi	0,12	0,40
* Vege-rehu kirjolohi	0,093	0,28

* tässä tutkimuksessa mitattu

Jos oletetaan, että 60 kg painava henkilö söisi suosituksen mukaisen kaksi kala-ateriaa viikossa (120 g kalaa/ateria) ja käyttäisi High-rehulla kasvatettua kalaa (0,86 WHO_{PCDD/F-PCB}-TEQ), hänen saantinsa olisi 3,4 pg WHO-TEQ/kg r.p., joka on 25 % siedettävästä viikkosaannista. Syömällä Vege-rehulla kasvatettuja kirjolohia saanti pienenesi 1,1 pg WHO-TEQ/kg r.p. ja olisi vain 8 % siedettävästä viikkosaannista.

3.4.2. Kirjolohien rasvahappokoostumus

Kala sisältää terveydelle edullisia pitkäketjuisia monityydyttymättömiä omega-3-rasvahappoja eikosapentaeenihappoa (EPA) ja dokosaheksaeenihappoa (DHA). Kalan rasvapitoisuus vaihtelee 0,5–30 % välillä ja riippuu mm. kalalajista, kalan ruokavaliosta ja kehitysvaiheesta, vuodenaikasta, veden lämpötilasta ja maantieteellisestä alueesta. Kala sisältää pääasiassa yksittäis- ja monityydyttymättömiä rasvahappoja ja se on EPA:n ja DHA:n ainoa luontainen lähde ruokavaliosta muiden merenelävien ohella. EPA ja DHA päätyvät kalaan sen syömästä kasviplanktonista. Eläinten ja ihmisten elimistön kyky muodostaa EPA:aa alfa-linoleenihaposta (ALA) on rajoittunut, ja eräiden arvioiden mukaan ihmisen terve elimistö pystyy muuttamaan vain noin 5–10 % ALA:sta EPA:ksi ja edelleen vain 2–5 % EPA:sta DHA:ksi (Jones ja Kubow 2006; He 2009). Myös kirjolohi pystyy tuottamaan pitkäketjuisia rasvahappoja lyhyistä, mutta lihaksen rasvahappopitoisuudet heijastelevat silti rehun rasvahappoprofiilia (Turchini ja Francis 2009, Thanuthong ym. 2011). ALA:aa on runsaasti kasviöljyissä, erityisesti rypsiöljyissä ja pellavansiemenöljyissä. Kalassa ALA:n ja omega-6-

rasvahappojen (kuten linolihapon, LA) määrä on hyvin pieni, mutta nousee, mikäli kalaa ruokitaan runsaasti omega-6-rasvahappoja sisältävällä rehulla.

Nykykäsityksen mukaan kalan käyttö ja omega-3-rasvahappojen saanti suojaa sydän- ja verisuonisairauksilta. Lisäksi on viitteitä siitä, että runsaalla omega-3-rasvahappojen saannilla saattaa olla suotuisia vaikutuksia mm. sokeriaineenvaihduntaan, tulehdusreaktioihin, hermoston toimintaan sekä henkiseen hyvinvointiin. EPA:n ja DHA:n saannille ei ole olemassa virallisia suosituksia. Välttämättömien omega-6- ja omega-3-rasvahappojen (LA ja ALA) vähimmäistarve on yhteensä 3 % kokonaisenergiansaannista ja ALA:n osuuden tulisi olla vähintään 0,5 % kokonaisenergiansaannista. Raskaana olevien ja imettävien naisten osalta vastaavat osuudet ovat 5 % ja 1 % (Valtion ravitsemusneuvottelukunta 2005). Edellä mainitun suosituksen mukaan ALA:n ja LA:n suhteen tulisi siis olla 1:6, mutta optimaalisesta suhteesta ei olla yksimielisiä. Tieteellisen kirjallisuuden perusteella on arvioitu, että sydän- ja verisuoniterveyden kannalta riittävä EPA:n ja DHA:n saanti olisi 0,25 g vuorokaudessa (Mozaffarian ja Rimm 2006). Myös European Food Safety Authority EFSA:n mukaan suositus sydän- ja verisuoniterveyden kannalta riittävästä EPA:n ja DHA:n saannista vaihtelee Euroopassa välillä 0,25–0,50 g vuorokaudessa (EFSA 2012).

Tässä tutkimuksessa havaittiin, että kasviöljypohjaisella Vege-rehulla ruokituissa kirjolohissa oli EPA:aa lähes 80 % vähemmän ja DHA:ta noin 60 % vähemmän kuin tavanomaisella kalaöljypohjaisella rehulla ruokituissa kirjolohissa (taulukko 14). EPA:n ja DHA:n määrät olivat kuitenkin samaa tasoa kuin kotimaisissa kaloissa (silakka, muikku, ahven ja hauki) keskimäärin ja noin nelinkertaiset verrattuna vaaleaan tuontikalaan (pangasius, tilapia ja hoki) (taulukko 15, Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2011). Voidaan arvioida, että jos henkilö söisi suosituksen mukaisen kaksi kala-ateriaa viikossa (120 g kalaa/ateria), hänen EPA:n ja DHA:n saantinsa kasviöljypohjaisella Vege-rehulla ruokitusta kalasta olisi yhteensä noin 0,17 g päivää kohden, kun taas kalaöljypohjaisella High-rehulla ruokitusta kalasta EPA:n ja DHA:n saanti olisi noin 0,51 g päivää kohden.

Linolihappo- (omega-6-rasvahappo) ja ALA-pitoisuudet (omega-3-rasvahappo) olivat kasviöljypohjaisella rehulla ruokituissa kirjolohissa noin kolminkertaiset verrattuna kalaöljypohjaisella rehulla ruokittuihin kirjolohiin.

Jos henkilö söisi suosituksen mukaisesti kaksi kala-ateriaa viikossa käyttäen Vege-rehuilla ruokitua kirjolohta, jonka rehu on vaihdettu kahden teurastusta edeltävän kuukauden ajaksi High-rehuksi (Wo1), hän saisi noin 55 % enemmän EPA:a ja DHA:ta verrattuna koko kasvatusajan pelkällä Vege-rehulla ruokittujen kirjolohien syömiseen. Jos kasviöljypohjainen rehu vaihdettaisiin kalaöljypohjaiseen rehuun neljän teurastusta edeltävän kuukauden ajaksi (Wo3), EPA:n ja DHA:n saanti kahdesta kala-ateriasta olisi enää noin neljänneksen alhaisempi kuin koko kasvatusajan kalaöljypohjaisella rehulla ruokittua kirjolohta syödessä.

Taulukko 14. Eri rehuilla ruokittujen kirjolohien rasvahappokoostumukset KirJa-projektissa.

Rasvahappo g/100 g kirjolohta	Rehu				
	Kalaöljy (High) n=23	Kalaöljy (Low) n=6	Kasviöljy (Vege) n=23	Kasviöljy + 2 kk Kalaöljy (Wo1) n=3	Kasviöljy + 4 kk Kalaöljy (Wo3) n=4
Linolihappo (LA)	0,46	0,56	1,3	1,2	1,0
Alfalinoleenihappo (ALA)	0,16	0,15	0,44	0,40	0,34
Eikosapentaeenihappo (EPA)	0,48	0,11	0,11	0,23	0,35
Dokosaheksaeenihappo (DHA)	1,0	0,45	0,40	0,56	0,73

Taulukko 15. Kirjoloihen, kotimaisen kalan (silakka, muikku, ahven ja hauki), tuontikalan (pangasius, tilapia ja hoki) ja rypsiöljyn rasvahappokoostumukset suomalaisen FINELI -elintarvikkeiden koostumustietokannan (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2011) mukaan.

Rasvahappo g/100 g elintarviketta	Kirjolohi, keskiarvo	Kotimainen kala, keskiarvo	Tuontikala (vaalea), keskiarvo	Rypsiöljy
Linolihappo (LA)	0,31	0,066	0,003	2,2
Alfalinoleenihappo (ALA)	0,058	0,057	0,012	1,1
Eikosapentaeenihappo (EPA)	0,24	0,13	0,020	0
Dokosaheksaeenihappo (DHA)	0,75	0,34	0,11	0

3.4.3. Yhteenveto vierasaine- ja rasvahappopitoisuuksista

Kasviöljypohjaisella rehulla ruokittu kirjolohi sisälsi vähemmän vierasaineita kuin perinteisellä kalaöljypohjaisella rehulla ruokittu kirjolohi, joten Vege-rehulla kasvatettua kirjolohta käytettäessä altistutaan vähemmän vierasaineille. Huolimatta kalan kasvatukseen käytetyn rehun laadusta, kirjolohien vierasainepitoisuudet olivat pieniä ja pienempiä kuin pyydetyissä kaloissa. Tämän perusteella vierasaineille altistuminen ei voi olla syynä kasvatetun kalan kulutuksen vähentämiseen.

Kasviöljypohjaisella rehulla ruokitun kirjolohien EPA- ja DHA-pitoisuus oli lähes 70 % pienempi kuin kalaöljypohjaisella rehulla ruokitun kirjolohien EPA- ja DHA-pitoisuus, mutta se vastasi kuitenkin keskimäärin pyydettyä kotimaista kalaa ja oli jopa nelinkertainen verrattuna vaaleaan tuontikalaan.

Kasviöljypohjaisen rehun vaihtaminen kalaöljypohjaiseen rehuun kasvatuksen loppuvaiheessa nosti kirjolohien EPA- ja DHA-pitoisuutta. Kahden kuukauden kuluttua rehun vaihdosta EPA- ja DHA-pitoisuus oli lähes 55 % korkeampi ja neljän kuukauden kuluttua kaksinkertainen verrattuna koko kasvatusajan kasviöljypohjaisella rehulla ruokittuun kirjoloheeseen. Neljän kuukauden kuluttua rehun vaihdosta kirjolohien EPA- ja DHA-pitoisuus oli enää neljänneksen alhaisempi kuin koko kasvatusajan kalaöljypohjaisella rehulla ruokitulla kirjolohella.

Tämä tutkimus osoitti, että kalan sisältämät vierasaineet ja terveydelle edulliset rasvahapot kulkevat käsi kädessä. Suurin hyöty ja suurin mahdollinen haitta näyttää tulevan samassa paketissa: kalaöljypohjaisella rehulla ruokituksessa kasvatetussa kirjolohessa on enemmän EPA:a ja DHA:ta, mutta toisaalta myös enemmän vierasaineita verrattuna kasviöljypohjaisella rehulla ruokittuun

kasvatettuun kalaan. Kasvatetussa kalassa on kuitenkin hyvän rehuvalvonnan ansiosta vain vähän vierasaineita ja siten voidaan hyvin todeta, että syömällä kasvatettua kalaa / kalaa yleensä suositusten mukaisesti saa terveyshyödyn ja samalla altistuminen vierasaineille jää alle suurimman siedettävän saannin. Kalaöljyä eniten sisältävällä rehulla saadaan EPA:n ja DHA:n suhteen parhaimman laatuista kirjolohta, mutta verrattaessa EPA- ja DHA-määrää pyydetyn kalan tai vaalealihaisen tuontikalan EPA- ja DHA-määriin voidaan todeta, että myös kasviöljypohjaisella rehulla saadaan markkinoille laadukasta kalaa.

Syömällä kalaa vähintään suositusten mukaisesti saadaan terveydelle edullisia tyydyttymättömiä rasvahappoja ja vähennetään samalla tyydyttyneiden rasvahappojen saantia, joten kokonaisuudessaan kalan käyttö on erittäin suositeltavaa.

3.5. Taloudelliset vaikutukset

Räätälöintivaihtoehtojen kustannukset ja siitä saatavat taloudelliset hyödyt määritettiin arvoketjun eri osissa rehun valmistajalta kalanjalostusteollisuuteen, jotta pystyttiin arvioimaan, miten rehun koostumuksen ja ruokintatapojen muutokset vaikuttavat tuotteen kilpailukykyyn. Rehun tuotantokustannusmuutosten lisäksi taloudellisia vaikutuksia tunnistettiin kalankasvatussektoriin liittyvissä tuotantotekijöissä, kuten kalojen kasvussa, kuolleisuudessa sekä perkuusaannossa. Jalostussektorissa arvoon vaikuttavia muutoksia havaittiin fileesaannossa, fileen trimmaussaannossa sekä savustusprosessissa. Taloudellisten vaikutusten vertailut esitetään suhteessa High-rehulla ruokittuun kalaan, joka kuvaa parhaiten nykyisin käytössä olevaa rehukoostumusta ja siten myös raaka-ainetta väli- ja lopputuotteissa.

3.5.1. Vähärasvaisen sekä kasviöljypainotteisen rehun vaikutukset arvoketjun kilpailukykyyn

Taloudellisia vaikutuksia arvioitiin laskemalla, miten väli- ja lopputuotteiden eli esimerkiksi rehunvalmistusteollisuuden tai kylmäsavustustuotteiden valmistuksen kannattavuus muuttuu siirryttäessä laadultaan erilaisiin raaka-aineisiin. Käytettävä raaka-aine vaikuttaa tuotantotekijöiden hintaan ja arvoketjun yritystoimintojen tehokkuuteen. Vaikka tuotekohtainen kannattavuuden muutos olisikin merkittävä arvoketjun eri väliportaissa ja tuoteryhmissä (kuvat 25 ja 26), ei sillä ole kokonaisarvon kannalta välttämättä merkitystä, jos esimerkiksi tuoteryhmän kulutus on pieni.

Kun arvioidaan vaikutusta lopputuotteen kilpailukykyllä tuotekohtaisten vaikutusten tulee olla vertailukelpoisia. Kuvissa 27 ja 28 on ensin yhteismitallistettu tuotantotekijöiden taloudelliset vaikutukset suhteuttamalla ne peratun kalan hintaan. Vaikka tuotantotekijöiden muutokset olivat suurempia alkutuotannossa, arvokkaissa lopputuotteissa, kuten esimerkiksi savufileetuotteissa, vaikutus arvoketjun kilpailukykyyn on merkittävämpi, koska raaka-aineen hinta on muodostunut arvokkaammaksi aiemmin arvoketjussa. Kokonaistaloudellista merkitystä arvioidaan lisäksi kuvissa 29 ja 30, joissa tuotantotekijöiden taloudelliset vaikutukset on edelleen painotettu tuotemäärien menekillä.

Merkittävimmät tuotannontekijämuutokset arvoketjussa

Rehun hinta

Molemmilla koerehusepteillä, Low ja Vege, saavutetaan huomattavat kustannussäästöt laskennassa käytetyillä oletuksilla (liite 1). Rehun hinnan muutos aiheuttaa suurimman taloudellisen muutoksen suhteutettuna muihin tuotantotekijöihin, niin tuotetasolla rehuvalmistuksessa, mutta myös kokonaishyötyä arvioidessa (kuvat 25-30). Rehun hintaan vaikuttaa olennaisesti kala- ja rypsiöljyn markkinahinta sekä käytetyn öljyn määrä suhteessa muihin rehun raaka-aineisiin ja niiden hintaan. Laskennassa rehun tuotantokustannuksena käytettiin 1 €/rehukilo, kalaöljyn arvioitiin maksavan 1800 €/tonni ja rypsiöljyn 900 €/tonni⁴. Edellisissä kappaleissa esitettyjen Low- ja Vege-rehujen käytön vaikutuksia verrattiin High-rehuun, joka vastaa parhaiten nykytilassa käytettyjä rehua. Rehutehokkuudessa ei huomattu eroja rehuseptien välillä.

Laskennassa huomioitiin ainoastaan rehun raaka-aineiden vaikutus hintaan ja esimerkiksi uuden tuotteen käyttöönottamiseen liittyviä mahdollisia investointeja ja varastointikuluja ei tässä laskennassa ole huomioitu. Mahdollisten investointikustannusten vaikutuksia tulokseen on arvioitu Wo-käsittelyn yhteydessä. Vege-rehulla arvoketjun hyöty jää negatiiviseksi, jos rehunvalmistuksesta saatavaa kustannushyötyä ei pystytä välittämään rehuteollisuudesta arvoketjuun halvempaan rehuna kalankasvatuksen ja jalostussektorin tuotantokustannusten laskemiseksi. Arvoketjun kannalta positiiviseen-tulokseen päästään Vege-rehulla, jos kalaöljyn hinta on vähintään noin 360 €/tonni kasviöljyä kalliimpaa, muiden raaka-aineiden maksaessa saman verran.

Kalan kasvu ja kuolleisuus

Kalan kasvun arvioitiin olevan Vege-rehulla 3 % (ei tilastollisesti merkitsevä) ja Low-rehulla 10 % normaalia hitaampaa (vertailuryhmä High 90 g => 1 665 g). Kuolleisuuden todettiin olevan hieman pienempää Low-rehuruokinnan kaloilla, eloonjääneitä todettiin olevan noin 4 % muita ryhmiä enemmän. Vege-rehulle laskettu kasvun vähenemisen aiheuttama kannattavuuden lasku 0,02 €/kg aiheuttaisi 500 tonnia tuottavalle yritykselle 10 000 € vuositappion. Kalankasvatuksen taloudelliset vaikutukset laskettiin bioekonomisilla malleilla, jossa kasvun tai paremman eloonjäämisen taloudellisen hyöty perustuu säästettyihin kustannuseriin, jotka edelleen koostuvat pääasiassa poikasten hankinnasta (Kankainen ym 2012). Kalankasvatukseen liittyvät tuotantotaloudelliset oletukset ja laskentakaavat on esitetty tarkemmin liitteessä 1 ja tiedot on johdettu kalankasvatuksen kannattavuuslaskentaohjelmasta (Kankainen ja Setälä 2007).

Perkuusaanto, fileointi, trimmaus ja savustus

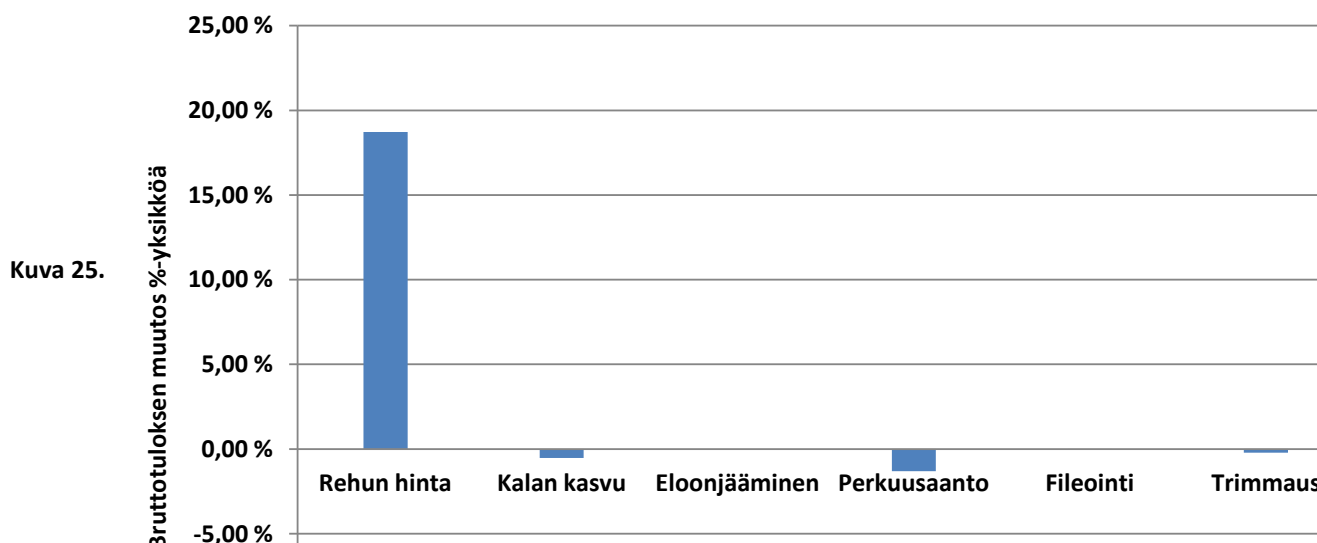
Perkuusaanto tuotepainosta oli Vege-ruokinnan kaloilla 1,1 % High-kaloja heikompi, jolloin perkuusaannon muutoksen kannattavuusvaikutus on jo merkittävä. 500 tonnia tuottavan yrityksen tulos laskisi 25 000€ vuodessa. Jalostussektoriin kohdistuvien tuotannontekijöiden vaikutus oli vähäinen, mutta kilpailukykyä heikentävä, Vege-tuoteryhmässä.

Low-kalojen perkuusaanto oli 3 % High-kaloja parempi. Fileesaannon huononeminen kuitenkin mitätöi osan perkuusaannon hyödyistä; todennäköisesti rehuista puuttuva öljy on vähentänyt sekä perkuujätteiden- ja fileiden painon osuutta suhteessa ruotojen ja pään painoon. Trimmaussaanto oli

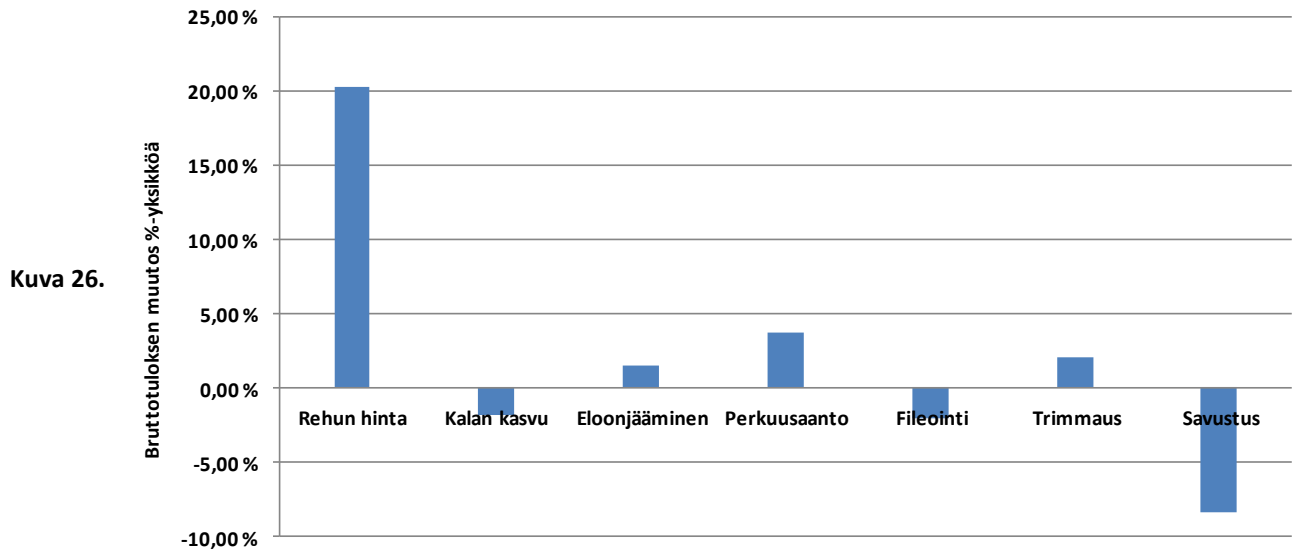
⁴FAO: Syyskuu 2012: Rypsiöljy 1271,00USD/ton, kalaöljy 2056.00 USD/ton, kalaöljyn hintatrendi on nouseva

kuitenkin High-ryhmää parempi, koska myöskään rasvaa ei ollut kertynyt vastaavalla tavalla. Lämminsavustuksessa saanto oli Low:lla kuitenkin huonompi; todennäköisesti, koska vesi poistuu savustusprosessissa rasvaa helpommin kalasta. Tutkimuksessa ei arvioitu, onko lopputuotteen laatu edelleen riittävän rasvaista graavituotteisiin. Kylmäsavutuotteissa sekä Vege- että Low-ryhmissä kalanmaku ei ollut yhtä voimakas kuin High-käsittelyssä.

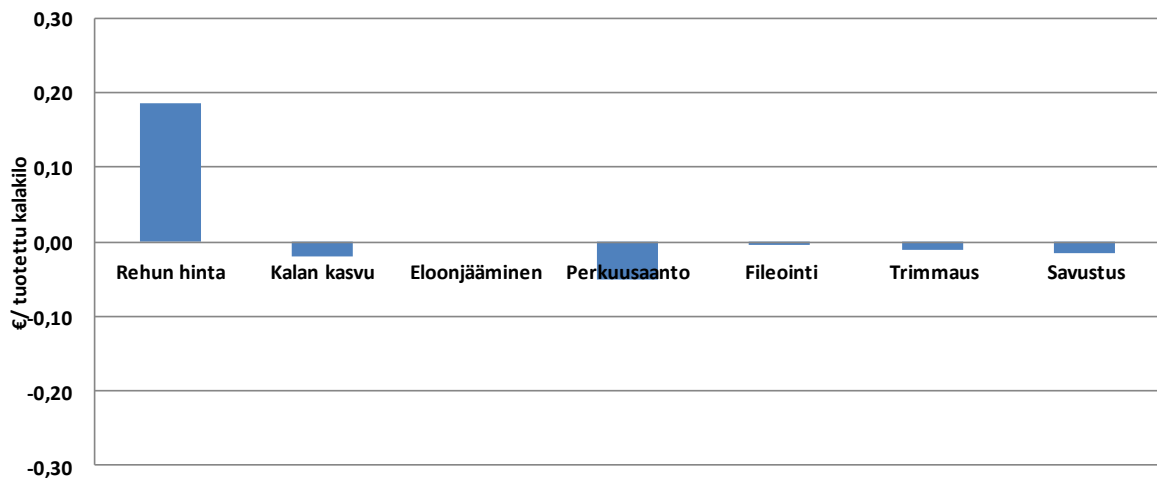
Perkuusaannon ja muiden tuotesaantomuutosten kustannushyöty laskettiin siten, että raaka-aineen ja työkustannuksien käyttö tehostuu, jos saannot paranevat. Prosenttiyksikön muutos saannossa laskettiin aiheuttavan 1,32 % vähemmän työkustannuksista ja 1,42 % raaka-ainekustannuksista (Kalanjalostuksen kannattavuuslaskentaohjelma Setälä ja Partanen 1995). Raaka-aineen kustannusten arvioitiin olevan noin 77 % ja henkilöstökulujen 9 % tuotantokustannuksesta perkuuprosessissa ja jatkojalostuksessa. Laskennan tuotantotaloudelliset oletukset, kuten perkuutehokkuudet ja työn hinta sekä niistä johdetut välituotteiden arvot, on esitetty liitteessä 1. Eri jalostustuotteiden kysyntää on arvioitu vuoden 2011 jalostustilastoista (Kalajalosteiden tuotanto 2011). Muutokset rehun hinnassa, kalan kasvussa, eloonjäämisessä tai perkuusaannossa vaikuttavat koko tuotantomäärään ja sen arvoon. Sen sijaan fileointi vaikuttaa 65 %:iin, trimmaus 25 %:iin ja fileiden savustus 9 %:iin kokonaistuotantomäärästä.



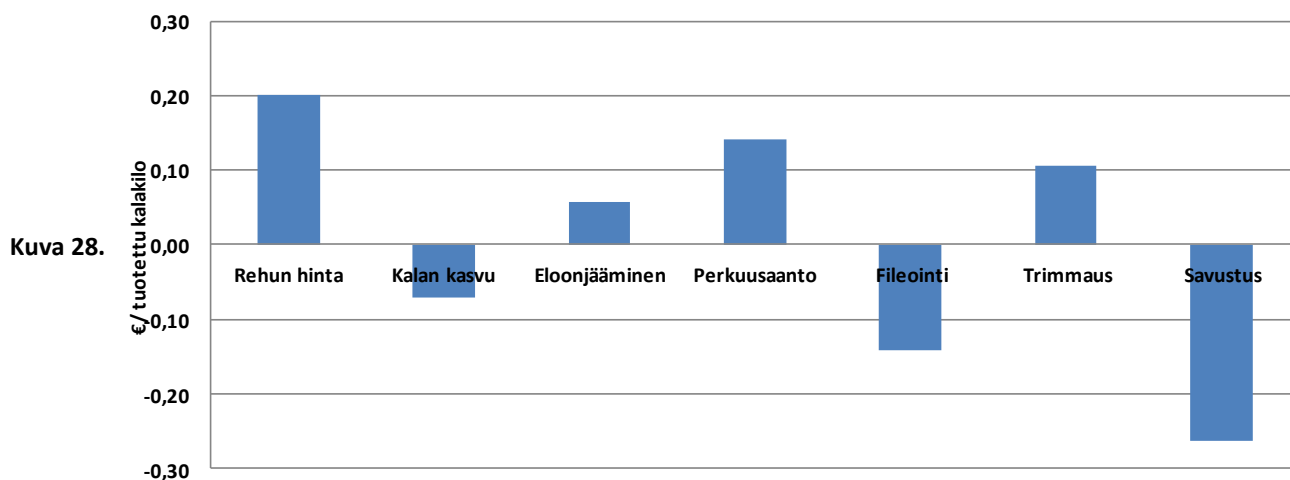
Tuotantotekijöiden vaikutus välituotteen kannattavuuteen kasviöljypainotteisella rehulla, Vege.



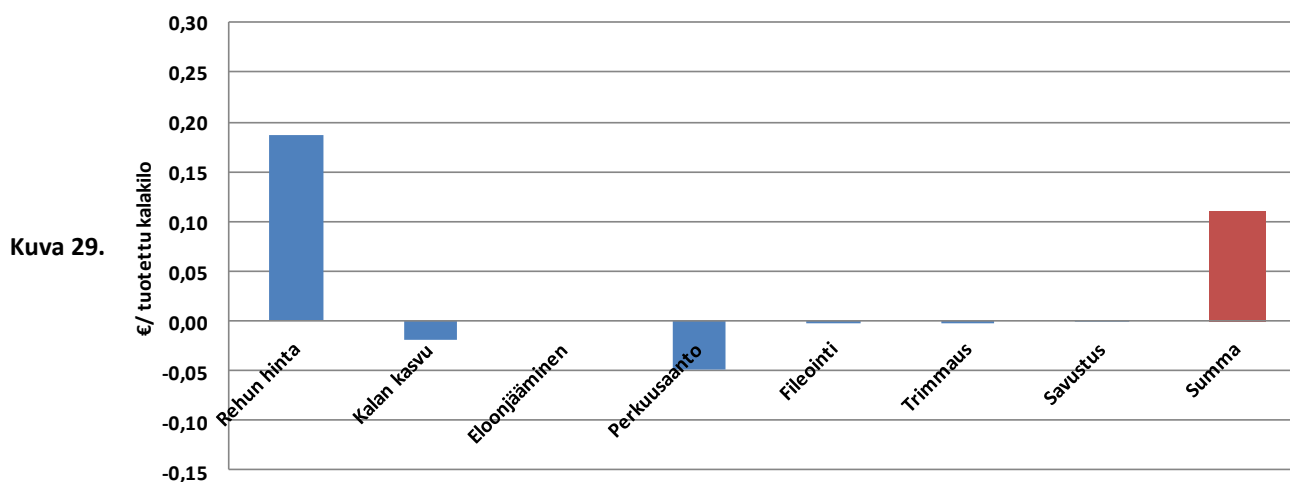
Tuotantotekijöiden vaikutus välituotteen kannattavuuteen vähäöljyisellä rehulla, Low.



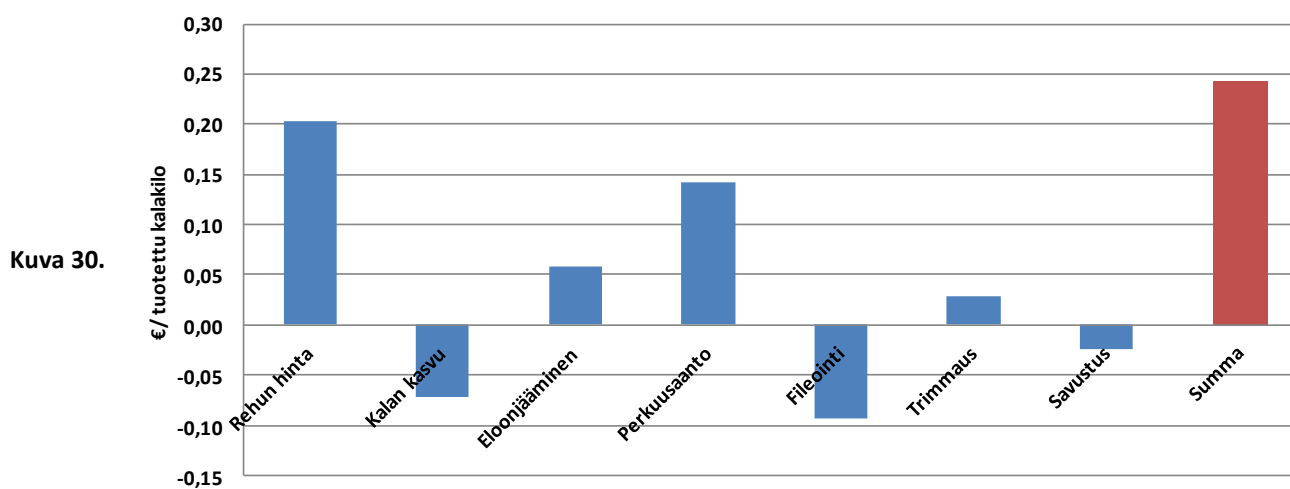
Kuva 27. Tuotantotekijöiden suhteellinen vaikutus arvoketjun kilpailukykyyn kasviöljypainotteisella rehulla, Vege.



Tuotantotekijöiden suhteellinen vaikutus arvoketjun kilpailukykyyn vähäöljyisellä rehulla, Low.



Tuotantotekijän suhteellinen vaikutus arvoketjun kilpailukykyyn kasviöljypainotteisella rehulla, Vege, tuotemenekillä painotettuna.



Tuotantotekijän suhteellinen vaikutus arvoketjun kilpailukykyyn vähäöljyisellä rehulla, tuotemenekillä painotettuna.

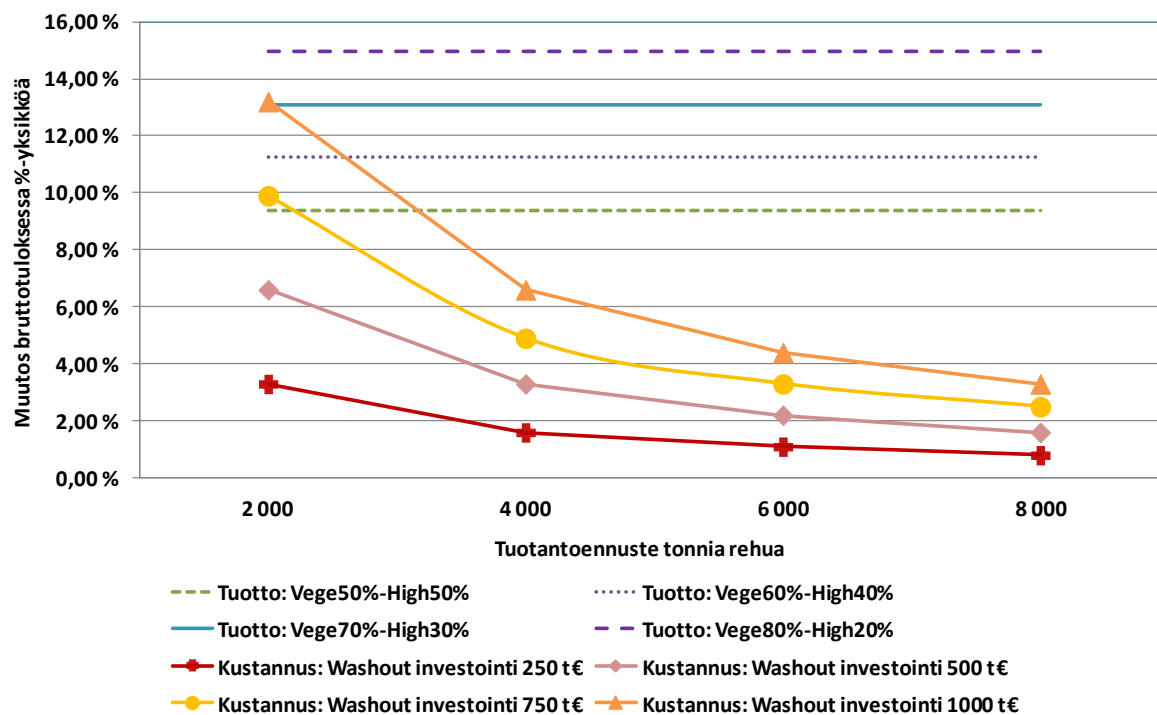
3.5.2. Rehulaatujen yhdistäminen ja tuotantolinjainvestoinnit vaikuttavat kilpailukykyyn

Washout-käsittelyllä (Wo) pyritään vaikuttamaan erityisesti lopputuotteen laatuun valitsemalla kalojen loppuruokintaan sopiva määrä kalaöljypainotteista rehua, jolla saavutetaan hyvä tuotteen laatu. Tutkimusasetelmassa kaloja ruokittiin ensin kasviöljypainotteisella rehulla (Vege), joka vastasi osuudeltaan 65 - 83 %:a kalan käyttämästä rehusta. Loppukasvatus, 17 - 35 %:a hoidettiin kalaöljypainotteisella High-rehulla. Käsittelyissä High-rehulla saatiin siis kaloille lisäkasvua 20 % (Wo1), 38 % (Wo2) ja 53 % (Wo3). Rehujen yhdistelmillä voidaan vaikuttaa esimerkiksi terveellisten rasvahappojen määrään ja lopputuotteiden makuun.

Kuvassa 31 on vertailtu erilaisten rehusuhteiden vaikutusta rehuteollisuuden kannattavuuteen, jos nykyisestä rehusta (High) siirryttäisiin tuottamaan lisäksi eri määriä kasviöljypainotteista rehua (Vege). Jos myyntihinta pysyisi samana molemmilla rehulaaduilla, lyhimällä Wo-käsittelyllä, jossa kaloja ruokitaan High-rehulla vain 20 % kalan kokonaiskasvusta (ylin katkoviiva), rehunvalmistussektorin bruttotulos paransi noin 15 % -yksikköä. Jos rehuteollisuuden tuotantolinjoista tehdään joustavampia erilaisten rehuseptien valmistamiseksi, se todennäköisesti edellyttäisi myös lisäinvestointeja. Keltaisilla ja punaisilla viivoilla on osoitettu, miten tuotantoinvestoinnit ja valmistettavat rehuotantomäärät vaikuttavat tuotantokustannukseen ja siten bruttotulokseen.

Jos esimerkiksi raaka-ainekustannussäästö Vege60 % - High40 % -räätälöinnissä parantaisi tulos-ta 11 % -yksikköä, se kuitenkin vaatisi toteutuakseen 750 000 € lisäinvestoinnit⁵. Näin ollen 4 000 tonnin vuosirehutuotanto-oletuksella investointi tulisi laskemaan bruttotulosta samalla noin 5 % -yksikköä. Rehusektorin kannattavuus paransi kuitenkin erotuksen eli 6 % -yksikköä. Kyseisellä rehun tuotannolla ja euron reuhintaoletuksella vuosisäästö olisi siten 240 000 €. Tulos heikkenee, jos kasvipohjaisen rehun hintaa joudutaan laskemaan, jotta arvoketjun kilpailukyky säilyy hyvänä.

⁵ Poistoaika 5 vuotta, korko 10 %



Kuva 31. Rehuvalmistuksen kannattavuuden muutos eri rehuvalmistemäärillä (siniset ja vihreät viivat) ja miten mahdolliset kustannustekijät ja tuotantomäärä vähentävät kannattavuutta (keltaiset ja punaiset viivat). Rehu-yhdistelmien prosentit kertovat, missä suhteessa eri rehuja, Vege ja High, kaloille annetaan.

4. Yhteenveto ja odotukset

Kalan terveellisyys elintarvikkeena perustuu osaksi sen hyvään rasvahappokoostumukseen. Omega-3-rasvahappojen suhdetta omega-6-rasvahappoihin pidetään länsimaisessa ravitsemuksessa yleensä epäsuotuisana ja ravitsemussuositukset vaihtelevat suhteesta 1:9 aina 1:1:een. Suomessa rasvahappojen suhde ravinnossa (1:4) on pysynyt hyvänä pitkälti runsaan rypsiöljyn ja kalan käytön johdosta. Kasviöljyistä nimenomaan rypsiöljyllä suhde on suotuisa, 1:2, ja kalassa suhde on poikkeuksellisesti ravitsemusta korjaava, jopa 14:1. Pitkäketjuisia terveyttä edistäviä omega-3-rasvahappoja saadaan kuitenkin vain kala- ja äyriäistuotteista.

Kasviöljyjen käyttö ravitsemuksessa on tunnetusti terveydelle edullista. Kasviöljyn käyttöä hyödynnetään monissa elintarvikkeissa terveellisyysmarkkinointiin, mutta kalatuotteissa sen käyttöä joudutaan perustelemaan. Kun kasviöljyä syötetään kalalle, sen luontaiset ainutlaatuiset pitkäketjuiset omega-3-rasvahapot, EPA ja DHA, korvautuvat lyhyempi ketjuisilla kasviöljyn rasvahapoilla. Tämä ei heikennä kalan yleistä merkitystä terveellisen rasvan, proteiinien, vitamiinien eikä kivennäis- ja hivenaineiden lähteenä. Tutkimuksen mukaan myös pitkäketjuisten omega-3-rasvahappojen pitoisuudet voidaan säilyttää ravitsemuksellisesti merkittävinä, kun kalaöljyn korvaaminen hoidetaan hallitusti. Kun kokeessa kalaöljyn määrää rehussa tiputettiin alle puoleen korvaamalla sitä kotimaisella rypsiöljyllä (High -> Vege), vastasivat kirjolohen EPA- ja DHA-pitoisuudet villiä luonnon kalaa ja olivat siten elintarvikkeidemme joukossa vielä ainutlaatuiset. Loppuruokinnan avulla pitoisuuksia voitiin jälleen nostaa.

Kalaöljyn osittainen korvaaminen rypsiöljyllä ei aiheuttanut haitallisia käytäntöä rajoittavia liitännäisominaisuuksia. Kalojen hyvinvointi, kasvu, jalostettavuus, säilyvyys ja aistittava laatu säilyivät hyvinä öljylähteestä riippumatta ja tuotteiden vierasainepitoisuus laski entisestään. Oma haaste ja mahdollisuus on, voidaanko jo ennestään arvostettuun ja terveelliseen lopputuotteeseen rakentaa lisäarvoa esimerkiksi omega-3-rasvahappoja kontrolloidusti lisäämällä. Kotimainen arvoketju pystyy potentiaalisesti erilaistamaan tuotettaan edelleen rasvahappokoostumukseen pohjautuen, mikäli kuluttajat ovat valmiita maksamaan laadusta kovemman hinnan.

Testatut kalaöljynkorvaamiskäsittelyt paransivat arvoketjun kokonaiskannattavuutta, vaikka arvoketjun yksittäisillä portailla vaikutus kannattavuuteen saattoi olla vähäinen tai jopa negatiivinen. Taloudellisen laskennan perusteella vaihtoehdot voidaan viedä kannattavasti käytäntöön, jos arvoketjun toimijat tekevät yhteistyötä ja rehun kustannussäästöistä saatava hyöty valutetaan arvoketjuun koskemaan myös kalankasvatus- ja jalostussektoria. Kokonaiskannattavuuden lisäksi hyvä uutinen toimialalle on se, että rehun raaka-ainepohjan kotimaisuusastetta voidaan turvallisesti lisätä ja sen kestävyyttä parantaa. Tuotettua kalakiloa kohden käytetyn kalaöljyn määrää voidaan laskea ja samanaikaisesti kuitenkin tuottaa terveellistä ja laadukasta kotimaista kalaa kuluttajan käyttöön.

Hankkeessa oli mukana vaikuttavuudeltaan merkittävä yhteistyöverkosto, joka kattaa kotimaisen kirjolohen tuotantoketjun alkutuotannosta kuluttajatuotteisiin sekä parhainta tutkimuksen ja kalaalan osaamista. Verkoston yhteistyöllä tuotteistoa voidaan kehittää tavalla, joka ei ole tuontikalalla mahdollista. Kun uutta tietoa syntyy, voidaan nyt rakennettua taloudellista mallia tarkentaa ja sovitaa uusien kysymysten ratkaisemiseksi. Samoin on mahdollista seurata toimialalla tapahtuvien dynaamisten muutosten, kuten vaikkapa rehuraaka-aineiden hinnan tai tuoteryhmän kysynnän, vaikutuksia kannattavuuteen.

Hankekokonaisuus noudatti tutkimuslaitoksen linjauksia, joiden tavoitteena on tarjota ratkaisumalleja elinkeinojen ja yhteiskunnan käyttöön. Hankkeella on yhtymäkohtia useisiin toimialan pitkän tähtäimen strategioihin, joiden tavoitteita ovat:

- vesiviljelyn kestävä kasvu
- elinkeinon kilpailukyvyyn parantaminen
- omavaraisuuden turvaaminen
- ympäristöystävällisten rehuseosten kehittäminen
- uusien rehuraaka-aineiden ja rehun lisäaineiden soveltuvuuksien tunteminen
- kalojen tuotelaadun ylläpito ja kehittäminen

Tutkimus tuotti välitöntä tietoa rehun öljylähteen muuttuessa tapahtuvista muutoksista kirjoloihen kasvussa, jalostettavuudessa, kasvatuskäytännöissä, lopputuotteen laatuominaisuuksissa ja terveellisyydessä sekä niiden taloudellisista vaikutuksista. Tulosten hyödyntäjiä ovat kaikki kala-alan toimijat sekä suomalaiset kuluttajat. RKTL jatkaa strategiansa mukaisesti aktiivisesti yhteistyötä yritys- ja tutkimuskumppaneiden kanssa parhaiden toimintamallien löytämiseksi ja viemiseksi käytäntöön tulosten pohjalta. Tulokset ja osa-aineistot työstetään soveltuvin osin tieteellisiksi artikkeleiksi sekä eri kohderyhmät huomioiviksi ammattijulkaisuiksi, ohjeistuksiksi ja kirjoituksiksi.

Kiitokset

Lämpimät kiitokset kuuluvat yhteistyöyrityksillemme Savon Taimen Oy:lle, Taimen Oy:lle, Ab Chipsters Food Oy:lle sekä Raisioagro Oy:lle ja heidän edustajilleen, jotka ovat olleet merkittävässä roolissa työmme innostajina sekä toteuttajina. Kiitokset myös Tekesille, ja yhteyshenkilöllemme Heikki Arolle. Lisäksi haluamme kiittää kollegoitamme, joiden nimet löytyvät raportin sivuilta 8-9.

Viitteet

- FAO. © 2010-2012. Fisheries and Aquaculture Department. About us - Fisheries and Aquaculture Department. In: *FAO Fisheries and Aquaculture Department* [online]. Rome. Updated . [Cited 27 December 2012]. <http://www.fao.org/fishery/about/en>
- Hallikainen, A., Parmanne, R., Kiviranta, H.,T. & Vartiainen, T. 2006. Voiko silakkaa edelleen syödä? Dioksiinien saanti elintarvikkeista arvioitu uudelleen. *Duodecim* 122: 801-804.
- Hallikainen, A., Airaksinen, R., Rantakokko, P., Koponen, J., Mannio, J., Vuorinen, P.J., Jääskeläinen, T. & Kiviranta, H. 2011. Itämeren kalan ja muun kotimaisen kalan ympäristömyrkyt: PCDD/F-, PCB-, PBDE-, PFC- ja OT-yhdisteet: EU-Kalat II. *Eviran tutkimuksia* 2/2011.
- Huomisen ruoka – kansallisen ruokstrategian taustaraportti, MMM 2/2010. 48 s. [http://www.mmm.fi/attachments/mmm/tiedotteet/5qZTFTgQg/Huomisen ruoka - kansallisen ruokastrategian taustaraportti.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/mmm/tiedotteet/5qZTFTgQg/Huomisen_ruoka_-_kansallisen_ruokastrategian_taustaraportti.pdf)
- Isosaari, P., Hallikainen, A., Kiviranta, H., Vuorinen, P.J., Parmanne, R., Koistinen, J. & Vartiainen, T. 2006. Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins, dibenzofurans, biphenyls, naphthalenes and polybrominated diphenyl ethers in the edible fish caught from the Baltic Sea and lakes in Finland. *Environmental Pollution* 14: 213-225.
- Kankainen, M. & Setälä, J. 2007. Kalankasvatuksen kannattavuuslaskentaohjelma. RKTL. DVD.
- Kankainen M., Setälä J., Berrill I.K., Ruohonen K., Nobel C. & Schneider O. 2011. The economic effects of improving productivity in fish farming with the specific focus on growth, feed efficiency and survival, *Aquaculture Economics and Management*, Volume 16(4): 341-364.

- He, K. 2009. Fish, long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids and prevention of cardiovascular disease-- eat fish or take fish oil supplement? *Prog. Cardiovasc. Dis.* 52(2):95-114.
- Jones, P.J.H., Kubow, S. 2006. Lipids, sterols, and their metabolites. In: Shils ME, Shike M, Ross AC, Caballero B, Cousins RJ, editors. *Modern nutrition in health and disease*. 10 ed. Baltimore/Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Kalajalosteiden tuotanto 2011, Pentti Moilanen. Riista- ja kalatalous. Tilastoja, nro 7, 2012, 27 s.
- Kansallinen vesiviljelyohjelma 2015, 2009. Valtioneuvoston periaatepäätös, MMM, 14 s.
http://www.mmm.fi/attachments/elinkeinokalatalous/5HCzUiQiY/VN_periaatepaatos_Vesiviljelyohjelma_2015.pdf
- Mozaffarian, M.D., & Rimm, E.B. 2006. Fish Intake, Contaminants, and Human Health - Evaluating the Risks and the Benefits. *The Journal of the American Medical Association*, Vol 296(15):1885-1899 .
- Rehustrategioryhmän raportti, 2010. Verkkojulkaisu, MMM, 81 s.
http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/tyoryhmuistiot/2010/5u8Zwr8Vm/Rehustrategiat_yoryhman_raportti_final_NEW_220910.pdf
- Parmanne, R., Hallikainen, A., Isosaari, P., Kiviranta, H., Koistinen, J., Laine, O., Rantakokko, P., Vuorinen P.J. & Vartiainen, T. 2006. The dependence of organohalogen compound concentrations on herring age and size in the Bothnian Sea, northern Baltic. *Marine Pollution Bulletin* 52: 149-161.
- SCF (2001). Update of the "Risk assessment of dioxins and dioxin-like PCBs in food" based on new scientific information available since the adoption of the SCF opinion of 22nd November 2000; Opinion of the Scientific Committee on Food, adopted on 30 May 2001. European Commission Health and Consumer Protection Directorate-General.
- Setälä, J. & Partanen, K. 1995. Kalanjalostuksen kannattavuuslaskentaohjelma. Käyttöohje. 4 s + liitteet.
- Tacon, A.G.J., & Metian, M. 2008. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285:146–158.
- Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Ravitsemusyksikkö. Fineli. Elintarvikkeiden koostumustietokanta. Versio 14. Helsinki 2011. <http://www.fineli.fi>
- Thanuthong, T., Francis, D.S., Senadheera, S.P.S. D., Jones, P.L. & Turchini G. M. 2011. LC-PUFA Biosynthesis in Rainbow Trout is Substrate Limited: Use of the Whole Body Fatty Acid Balance Method and Different 18:3n-3/18:2n-6 Ratios, *Lipids*, 46:1111-1127.
- Turchini, G.M. & Francis, D.S. 2009. Fatty acid metabolism (desaturation, elongation and β -oxidation) in rainbow trout fed fish oil-or linseed oil-based diets. *Br. J. Nutr.*, 102:69-81.
- Turchini, G.M., Torstensen, B.E., & Ng, W.K., 2009. Fish oil replacement in finfish nutrition. *Reviews in Aquaculture* 1, 10–57.
- Valtion ravitsemusneuvottelukunta. Suomalaiset ravitsemussuositukset. Helsinki 2005.
<http://wwwb.mmm.fi/ravitsemusneuvottelukunta/FIN1112005.pdf>

Liite 1

Lyhyet menetelmäkuvaukset

Susanna Airaksinen ja Markus Kankainen
RKTL

Jukka-Pekka Suomela ja Mari Sandell
Turun yliopisto

Hannu Kiviranta
THL/YMTO

Kalamateriaali ja kalan käsittely

Rokotetut kalanpoikaset (15 g) tulivat Rymättylän kalantutkimusasemalle Savon Taimen Oy:ltä alkukesästä 2010. Ne jaettiin 9 koekassiin syyskuussa ja koerehuruokinnat käynnistettiin. Ruokinta toteutettiin Raisioagron rehutaulukon mukaisesti. Kalat punnittiin ensimmäisen (2010) ja toisen (2011) kasvukauden alussa, syksyllä ja lopussa sekä toisen kasvukauden aikana lisäksi marraskuussa sekä kiertovedessä vielä kevään 2012 kuluessa. Ensimmäinen siirto kiertoveteen tehtiin alkusyksystä ja toinen vuodenvaihteessa. Tammikuussa suurin osa kaloista perattiin merikasseista ja ohjattiin Ahvenanmaalle jalostettavaksi. Kaksi rinnakkaista kalaerää jalostettiin joko kylmä- tai lämminsavutuotteiksi, jotka palautettiin Turkuun jatkotutkimuksia varten.

Tuotelaatumittaukset

Kalaparvea seurattiin kokeen aikana välipunnituksin. Lopetuksen yhteydessä kaikki kaloja koskevat tuotantotiedot kirjattiin perkuun ja fileoinnin yhteydessä. Lisäksi otoksena näytteinä tutkittiin tuoreita fileita sekä kylmä- ja lämminsavukalaa, joista lämminsavukala pakattiin sekä vakuumiin että suojaakaasuun. Jalostuskäytännöt vastasivat yhteistyöyrityksen kaupallista tuotantoa. Kaikista näytteistä ei mitattu kaikkia muuttujia.

Lihaksen kiinteytyminen määritettiin sekä veitsi- että pistotestimenetelmällä rakennetestaustilanteista käyttäen (TA.XTPlus, Stable Micro Systems). Veitsitestiä varten leikattu ruodoton lihaspala leikattiin poikki Warner-Bratzler terää käyttäen nopeudella 10 mm/s. Testiä edeltävä ja testin jälkeinen terän liikkumisnopeus oli 2 mm/s ja laukaisuherkkyys 10 g. Mittauksessa rekisteröitiin suurin leikkausvoima (Newton, N). Tarkka leikkauskohdan pinta-ala saatiin skannaamalla poikkileikkauksista syntyneiden näytepalojen päät (Canon, CanoScan3200F, USA) ja määrittämällä pinta-ala kuva-analyysohjelmalla (ImageJ 1.37v, <http://rsb.info.nih.gov/ij/download/>). Leikkausvoima ilmoitetaan suhteessa leikkauspinta-alaan (N/mm²). Pistotesti tehtiin fileen poikkileikkauksesta. Mittapäänä käytettiin sylinteriä (Ø 12,7 mm ja Ø 15,0 mm), joka painettiin 90 % poikkileikkauksen paksuudesta nopeudella 2 mm/s. Laitteisto rekisteröi lihaspaksuuden ja kiinteyden voimana (N), joka tarvittiin sylinterin painamiseen. Mittauskohtana käytettiin ruodotonta aluetta juuri kylkiviivan yläpuolella.

Vedensidontakyvyn (VSK) määrittämiseksi gravimetrisesti kromatografiapaperista (3MM, Whatman) leikattiin 2/3-ympyrän muotoisia paloja, jotka esikuivattiin (105°C, yli yön), punnittiin ja asetettiin kartioiksi 50 ml koeputkien pohjalle. Noin 2,5 g pala valkoista lihasta punnittiin analyysivaa’alla, pilkottiin putkeen ja fuugattiin (500g, 10 min) välittömästi. Lihasnäyte poistettiin ja paperit punnittiin uudelleen, kuivattiin (105°C, yli yön) ja punnittiin vielä kerran vedensidontakyvyn määrittämiseksi.

Lihaksen väri määritettiin fileestä spektrofotometrillä (8 mm aukko, 10° havaintokulma, D65 päivänvalo, malli CM-2600d, Minolta, Japani). Värimittari käyttää CIELab-värimallia, jossa väri määritellään L*a*b*-avaruudessa (L*=vaaleus; a*=punaisuus; b*=keltaisuus) ja sen värikylläisyys (C*) ja sävy (h*) ilmoitetaan laskennallisesti: $C^*=(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ ja $h^*=\tan^{-1}(b^*/a^*)$.

Lopputuotteiden aistittava laatu

Aistivaraiset arvioinnit toteutettiin Turun yliopistossa aistittavan laadun laboratoriossa (ISO 8589) elintarvikekemian osastolla ja funktionaalisten elintarvikkeiden kehittämisskeskuksessa. Laboratorioissa on Compusense five datankeräysjärjestelmä. Arvioinneissa käytettiin kuvailevaa menetelmää ja tuloksena saatiin flavoriprofiili, jossa oli erilaisia haju-, maku- ja rakenneominaisuuksia. Näytteet arviointiin osissa, ensimmäisinä arviointiin kylmäsavulohet (4 käsittelyä), sitten lämminsavunäytteet suojakaasuun ja vakuumin pakattuina (6 käsittelyä). Näytteet säilytettiin kylmähuoneessa (+6 C) ja jaettiin annostelukippoihin juuri ennen arviointia. Arvioijia oli yhteensä 13. Kylmäsavulohet ja vakuumiin pakatut näytteet arviointiin kolmena rinnakkaisena arviointia erillisillä arviointikerroilla. Suojakaasuun pakatut lämminsavunäytteet arviointiin vain 2 kertaa. Arviointeja edelsi koulutusjakso jonka aikana tärkeimmistä ominaisuuksista rakennettiin profiili, valittiin ominaisuuksille sopivat vertailunäytteet ja opeteltiin arviointitekniikkaa ominaisuuskohtaisesti. Hajuominaisuuksia oli kaksi (savumainen ja kalamainen), makuominaisuuksia neljä (makea, suolainen, umami ja kalamainen), rakenneominaisuuksia neljä (kimmoisuus, kovuus, tarttuvuus hampaisiin ja kosteus). Arvioinneissa käytettiin ominaisuuskohtaisesti jana-asteikkoa (0 = ei lainkaan ja 10 = erittäin voimakas). Varsinaisissa arvioinneissa kukin arvioija työskenteli itsenäisesti omassa arviointikopissaan. Näytteet arviointiin satunnaistetussa järjestyksessä. Tulokset tarkasteltiin SPSS:llä.

Kirjolohinäytteen rasvahappojen ja rasvojen hapettumisen määrittäminen

Tutkimuksessa analysoitiin nahattomien kirjolohifileiden rasvojen määrää, rasvahappokoostumusta (taulukko 1) sekä rasvojen hapettumista. Myös rasvakudos- ja gonadinäytteitä analysoitiin. Näytteet homogenoitiin ja homogenaatista uutettiin lipidit kloroformi-metanolilla (2:1, v/v). Rasvojen kokonaismäärä näytteissä määritettiin punnitsemalla. Kustakin näytteestä valmistettiin kaksi rinnakkaista näytettä, minkä jälkeen rasvahapot analysoitiin metyyliestereinä kaasukromatografisesti. Kvantitoinnissa käytettiin sisäisiä standardeja.

Lipidien hapettumistuotteita mitattiin kahdella eri menetelmällä. Primääristen hapettumistuotteiden, hydroperoksidien (PV-arvo), määrä valikoiduissa näytteissä määritettiin ns. FOX-mikromenetelmällä (rautaoksidi-ksylenoli-oranssi) mittaamalla käsiteltyjen näytteiden absorbanssi 560 nm:ssa. Konjugoituneita dieenejä ja trieenejä esiintyy hapettuneissa rasvoissa, kun

hydroperoksidien muodostuminen alkaa ja niiden määrä lisääntyy sekundääristen hapettumistuotteiden muodostumisen yhteydessä. Konjugoituneiden dieenien (CD-arvo) ja trieenien määrää arvioitiin mittaamalla iso-oktaaniin liuotettujen lipidiuutteiden absorbanssi kahdella eri aallonpituudella: 233 nm ja 268 nm. Konjugoituneita rakenteita muodostuu, kun monitydyttymättömien rasvahappojen normaalisti ei-konjugoituneet kaksoissidokset vaihtavat hapettumisen aikana paikkaa. Konjugoituneiden trieenien suuri määrä kertoo pitkälle edenneestä hapettumisesta.

Määryksien kontrollinäytteiksi valmistettiin hapettuneita rypsi ja rapsiöljynäytteitä, joista mitattiin vastaavat tekijät kuin varsinaisista kalanäytteistä. Absorbanssit mitattiin kahdesta rinnakkaisesta näytteestä.

Taulukko 1. Näytteistä määritetyt rasvahapot.

14:0	Myristiinihappo
16:0	Palmitiinihappo
16:1(n-7)	Palmitoleiinihappo
18:0	Steariinihappo
18:1(n-9)	Öljy-, eli oleiinihappo
18:1(n-7)	Vakseenihappo
18:2(n-6)	Linolihappo, LA
18:3(n-3)	Alfalinoleenihappo, ALA
20:1(n-9)	Eikoseenihappo
20:4(n-6)	Arakidonihappo, AA
20:3(n-3)	Eikosatrieenihappo, ETA
20:5(n-3)	Eikosapentaeenihappo, EPA
22:6(n-3)	Dokosaheksaeenihappo, DHA
MUUT	
SUMMA	

Vierasaineet rehuissa ja kirjolohinäytteissä

Vierasaineet määritettiin:

- kirjolohien kasvatuksessa käytetyistä kolmesta rehusta: paljon kalaöljyä sisältävä (High), vähän kalaöljyä sisältävä (Low) ja runsaasti rypsiöljyä sisältävä (Vege) rehu (yhteensä kolme näytettä)
- lähtötilanteen kirjolohifilenäytteistä, jolloin kaloja oli kasvatettu ylläpitorehulla, joka vastasi High-rehua, kaloja yhteensä kuusi kappaletta kolmesta kasvatuskassista, kaksi kustakin (3 kasvatuskassien perusteella yhdistettyä näytettä)
- kasvatuskokeen jälkeen 18 kirjolohifilenäytteestä siten, että kullakin kolmella rehulla ruokituista kirjolohista oli 6 rinnakkaista näytettä kolmesta rinnakkaisesta kasvatuskassista (18 yksittäistä näytettä)
- kasvatuskokeen jälkeen 5 High-rehulla kasvatetusta kirjolohesta niin, että kala fileoitiin sekä nahattomaksi että nahalliseksi fileeksi (10 yksittäistä näytettä)

Määryksillä selvitettiin, miten kasvatettuihin kirjolohiin kerääntyi vierasaineita eri rehuista ja miten eri rehuilla kasvatetut kirjolohet erosivat toisistaan suhteessa vierasainepitoisuuteen. Nahallisten ja nahattomien kirjolohien määrittämisellä selvitettiin nahan poiston merkitystä vierasainepitoisuuksiin.

Näytteistä mitattiin polyklooratut dibentso-*p*-dioksiinit ja -furaanit (PCDD/F), 17 kpl, polyklooratut bifenyylit (PCB), 37 kpl, sisältäen 12 kpl dioksiinien kaltaista PCB-yhdistettä ja 6 ICES indikaattori PCB-yhdistettä sekä polybromatut difenyylietterit (PBDE), 15 kpl. Määritetyt analyytit on lueteltu taulukossa 2.

Näytteiden esikäsittely laboratoriossa

Rinnakkaiset lähtötilanteen näytteet yhdistettiin kasvatuskassien perusteella. Tällöin yhdistettyyn näytteeseen punnittiin kummastakin osanäytteestä yhtä paljon kirjolohifilettä. Kaikki muut kirjolohet sekä rehut mitattiin yksittäisinä näytteinä. Näytteet homogenisoitiin tasaiseksi massaksi joko homogenisaattorilla tai metallisella sauvasekoittimella. Sen jälkeen näytteet kuivattiin kylmäkuivurilla.

Vierasainepitoisuusmääritykset

Kaikki tutkimuksessa käytetyt määritysmenetelmät ovat akkreditoituja (T77, ISO/IEC 17025). Määritysmenetelmä on kuvattu yksityiskohtaisesti aiemmin (Isosaari ym., 2006; Parmanne ym., 2006). Määritettävät yhdisteet uutettiin kylmäkuivatusta näytteestä paineistetulla liuotinuutolla (ASE, Accelerated Solvent Extraction) 15 % etanoli-tolueeniin. Liuotin haihdutettiin pois ja näytteen rasvaprosentti määritettiin. Näytteestä poistettiin rasva rikkihapposilikapylvällä. Puhdistusta jatkettiin alumiinioksidi- ja aktiivihilipylvällä, joiden avulla PCDD/F-yhdisteet ja non-*ortho*-PCB-yhdisteet erotettiin muista yhdisteistä. Kvantitoinnissa käytettiin sisäisinä standardeina yhdisteiden ¹³C-leimattuja analogeja. Yhdisteet analysoitiin kaasukromatografisesti (Hewlett-Packard 6890) korkean erotuskyvyn massaspektrometrillä (Waters AutoSpec Ultima). PCDD/F- ja PCB-yhdisteille kolonni oli J&W Scientific DB-Dioxin (60m, ID 0.25 mm, 0.15 µm). PBDE-yhdisteille kolonni oli J&W Scientific DB-5 MS (60 m, ID 0.25 mm, 0.25 µm; PBDE 209:lle vastaavan kolonnin pituus 5 m).

Vierasainemääritysten laadunvarmistus

Näytteiden mukana analysoitiin joka sarjassa 2 laboratorion taustapitoisuutta mittaavaa nollanäytettä. Lisäksi mitattujen pitoisuuksien oikeellisuuden varmistamiseksi analysoitiin jokaisen näytesarjan mukana silakkakontrollinäyte. Kontrollisilakan PCDD/F- ja PCB-pitoisuuksien vertailuarvot on määritetty kansainvälisessä vertailukokeessa ja PBDE-pitoisuuksien vertailuarvot on saatu laboratoriossa useiden vuosien kuluessa suoritettujen toistomittauksien keskiarvona. PCDD/F-, PCB- ja PBDE-yhdisteiden saantoprosentti suhteessa vertailuarvoihin ja suhteelliset keskihajonnat olivat WHO-_{PCDD/F}-TEQ₂₀₀₅ 93 ± 6,3 %, WHO-_{PCB}-TEQ₂₀₀₅ 88 ± 4,6 % ja PBDE (summa sis. 209) 100 ± 2,5 %.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen Kemiallisen altistumisen yksikkö toimii kansallisena vertailulaboratoriona PCDD/F- ja PCB-yhdisteiden analyyseille rehu- ja elintarvikenäytteistä. Tutkimuksen aikana laboratorio osallistui menestyksellisesti kaikkiin tutkimuksen kannalta merkittäviin kansainvälisiin PCDD/F-, PCB-, PBDE-vertailukokeisiin.

Tulosten raportointi

Tässä raportissa vierasainetulokset ovat (ellei toisin ilmoiteta) ns. upper bound-arvoja (UB), eli pitoisuudeksi on merkitty määritysrajapitoisuus niille yhdisteille, joilla pitoisuus jäi alle määritysrajan (LOQ). Pitoisuudet on raportoitu tuorepainoa (tp) kohti. Taulukoissa esitetyt pitoisuudet ovat joko yksittäisiä määritystuloksia tai keskiarvoja, joiden yhteydessä on lisäksi esitetty minimi- ja

maksimimääritystulos. PCDD/F- ja PCB-toksisuusekvivalenttipitoisuudet (WHO-_{PCDD/F}-TEQ ja WHO-_{PCDD/F-PCB}-TEQ) perustuvat WHO:n vuonna 2005 asettamiin TEF-kertoimiin.

Profiilikuvat perustuvat ns. lower bound-arvoihin (LB), jolloin alle määritysrajan jääneen yksittäisen yhdisteen pitoisuus on profiilia laskettaessa ollut 0. Profiilikuvalla, jossa on yksittäisten vierasaineiden pitoisuuksien suhde/prosenttiosuus kunkin yhdisteryhmän kokonaispitoisuuden suhteen, voidaan tarkastella mahdollisia eroja saastumislähteessä. Indikaattori-PCB-yhdisteiden summa on saatu laskemalla yhteen johdosten PCB 28, 52, 101, 138, 153 ja 180 pitoisuudet.

Taulukko 2. Näytteistä määritetyt yhdisteet.

Yhdiste	Yhdiste	Yhdiste
PCDD	muut PCB:t	PBDE
2,3,7,8-TCDD	PCB 18	BDE 28
1,2,3,7,8-PeCDD	PCB 28/31	BDE 47
1,2,3,4,7,8-HxCDD	PCB 33	BDE 66
1,2,3,6,7,8-HxCDD	PCB 47	BDE 71
1,2,3,7,8,9-HxCDD	PCB 49	BDE 75
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	PCB 51	BDE 77
OCDD	PCB 52	BDE 85
	PCB 60	BDE 99
PCDF	PCB 66	BDE 100
2,3,7,8-TCDF	PCB 74	BDE 119
1,2,3,7,8-PeCDF	PCB 99	BDE 138
2,3,4,7,8-PeCDF	PCB 101	BDE 153
1,2,3,4,7,8-HxCDF	PCB 110	BDE 154
1,2,3,6,7,8-HxCDF	PCB 122	BDE 183
1,2,3,7,8,9-HxCDF	PCB 128	BDE 209
2,3,4,6,7,8-HxCDF	PCB 138	
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	PCB 141	
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	PCB 153	
OCDF	PCB 170	
	PCB 180	
non-ortho PCB	PCB 183	
PCB 77	PCB 187	
PCB 81	PCB 194	
PCB 126	PCB 206	
PCB 169	PCB 209	
mono-ortho PCB		
PCB 105		
PCB 114		
PCB 118		
PCB 123		
PCB 156		
PCB 157		
PCB 167		
PCB 189		

Taloudellisen laskennan lähtöarvot ja laskentamenetelmät

Rehuhinnanmuutos

Vege: $(\text{kalaöjy}\text{€}/\text{ton}-\text{rypsiöljy}\text{€}/\text{ton})/1000 * (\text{rypsiöljymäärä uudessa reseptissä } \% - \text{rypsiöljymäärä vanhassa reseptissä}) * \text{öljyn osuus rehussa } \% * \text{alkuperäinen tuotantokustannus } \text{€}/\text{kg}$

Low: $(\text{kalaöjy}\text{€}/\text{ton}/1000 * \text{alkuperäinen kalaöljymäärä reseptissä } \% + \text{alkuperäinen rypsiöljymäärä reseptissä } \% - \text{rypsiöljy}\text{€}/\text{ton}/1000) * \text{alkuperäinen öljyn osuus rehussa } \% - (\text{kalaöjy}\text{€}/\text{ton}/1000 * \text{uusi kalaöljymäärä reseptissä } \% + \text{uusi rypsiöljymäärä reseptissä } \% - \text{rypsiöljy}\text{€}/\text{ton}/1000) * \text{uusi öljyn osuus rehussa } \%$

Vege: $(1800/900)/1000 * (100 \% - 20 \%)*26 \% * 1\text{€}/\text{kg}$

Low: $(1800/1000 * 80 \% + 900/1000 * 20 \%)*26 \% - (1800/1000 * 80 \% + 900/1000 * 20 \%)*14 \%$

Kirjolojen tuotantokustannusrakenne;

Kalankasvatuksen kannattavuuslaskentaohjelma, Kankainen and Setälä 2007

Myyntimäärä	300 tonnia
<i>Tuotot</i>	€/kg
Myynti	3,99
Liikevaihdon oikaisuerät (Alv - velka)	0,03
Tuotot yhteensä	3,95
<i>Muuttuvat kustannukset</i>	€/kg
Rehukustannus	1,51
Poikaskustannus	0,62
Muut muuttuvat kustannukset	0,54
Muuttuvat kustannukset yhteensä	2,67
<i>Puoli kiinteät kustannukset</i>	€/kg
Investointikustannukset	0,18
Korkokustannukset	0,02
Henkilökustannukset	0,14
<i>Puoli kiinteät kustannukset yhteensä</i>	0,34
<i>Kiinteät kustannukset</i>	€/kg
Henkilökustannukset	0,49
Kiinteät kustannukset	0,19
Investointikustannukset	0,10
Korkokustannukset	0,02
<i>Kiinteät kustannukset yhteensä</i>	0,79
<i>Kustannus ennen lyhytaikaisia pääomakuluja</i>	3,81
Sitoutuneen pääoman kustannus	0,01
<i>Omakustannusarvo</i>	3,81
Tulos ennen välillisiä veroja	0,14

Kasvun taloudelliset vaikutukset (Kankainen ym. 2012)

$(1 - (\text{loppupaino gr} / ((\text{loppupaino gr} - \text{alkupaino gr}) * (1 + \text{muutos kasvussa } \%) + \text{alkupaino}))) * \text{tuottajahinta } \text{€}/\text{kg} * \text{poikaskustannuksen osuus tuottajahinnasta } \% * \text{painotuskerroin}$

Vege: $(1 - (1665 / ((1665 - 240) * (1 + 3 \%) + 240))) * 3,81 \text{€}/\text{kg} * 20 \% * 1$

Low: $(1 - (1665 / ((1665 - 240) * (1 + 10 \%) + 240))) * 3,81 \text{€}/\text{kg} * 20 \% * 1$

Eloonjäämisen taloudelliset vaikutukset (Kankainen ym. 2012)

$(\text{tuottajahinta } \text{€}/\text{kg} / (1 + \text{eloonjäämis-} \% \text{ loppubiomassasta}) / \text{tuottajahinta} * \text{muutos eloonjääneissä } \% * \text{eloonjäämis-} \% \text{ loppubiomassasta} * (\text{tuottajahinta} - \text{poikaskustannuksen osuus tuottajahinnasta } \% * \text{tuottajahinta-voitto}$

$\% \text{tuottajahinta} / 72 + (1 - 1 / (1 + \text{muutos eloonjääneissä } \%)) \text{ * poikaskustannuksen osuus tuottajahinnasta } \% \text{ tuottajahinta} \text{ * painotuskerroin}$

Low: $(3,81 / (1 + 98 \%)) / 3,81 * 4 \% * 98 \% * (3,81 - 20 \% * 3,81 - 3,6 \% * 3,81) / 2 + (1 - 1 / (1 + 4 \%)) * 0,20 \% * 3,81 \text{ * } 1$

Perkuusaannon taloudelliset vaikutukset

Välituotehinta €/kg * (saanto HIGH %-vertaileva saanto % * 100 % - kustannuksen muutos % kun saanto muuttuu yhden prosenttiyksikön

Vege: $3,81 \text{ €/kg} * (17,5 \% - 18,6 \%) * 100 \% - -1,21 \%$

Low: $3,81 \text{ €/kg} * (17,5 \% - 14,5 \%) * 100 \% - -1,21 \%$

Kirjoloihen jalostuksen tuotantokustannusrakenne ja oletusarvot (Kalanjalostuksen kannattavuuslaskentaohjelma, Setälä ja Partanen 1995)

3. KALANJALOSTUKSEN KANNATTAVUUSLASKELMA				
Filemyynti	325 000 KG	x	8,00 €/kg	2 600 000 €
Rehuksi myynti	175 000 KG	x	0,00 €/kg	0,00 €
LIKEVAIHTO, ARVONLISÄVEROLLINEN				2 600 000 €
- arvonlisävero	17 %			-377 778 €
LIKEVAIHTO, ILMAN ARVONLISÄVEROA				2 222 222 €
				6,84 €/kg
KALAN OSTOT	500 000 KG	x	3,99 €/kg	1 995 000 €
- arvonlisävero	17 %			-289 872 €
FILEOINTIPALKAT	15,00 €/h	x	10 000 H	150 000 €
SUOMUSTUSPALKAT	15,00 €/h	x	0 H	0 €
PAKKAUSPALKAT	15,00 €/h	x	812 H	12 187 €
PALKKASIVUKULUT	30,00 %	x	162 187 €	48 656 €
TUOTEPAKKAUKSET	0,00 €/kg	x	325 000 €	0 €
KULIETUSPAKKAUKSET	0,15 €/kg	x	325 000 €	48 750 €
- pakkausostoihin sisältyvä alv	22,00 %			-8 791 €
RAHDIT	0,40 €/kg		325 000 €	130 000 €
REHU/JÄTE RAHDIT	0,00 €/kg		175 000 €	0 €
- rahteihin sisältyvä alv	22,00 %			-23 443 €
MUUTTUVAT KULUT YHTEENSÄ				2 062 488 €
MYNTIKATE				159 734 €
				0,49 €/kg
				7,19 %
KALUSTO				
- Hankintahinta	200 000 €			
- Käyttöikä vuosissa	5 v.			
- Tuotteen osuus kaluston käyt	100 %			
- Tasapoisto kalustosta				40 000 €
LAINAA KALUSTOON				
- Lainaa kalustoon	0,00 €			
- Lainan korko	0,00 %			0 €
TULOS POISTOJEN JA KORKOJEN JÄLKEEN				119 734 e
				0,37 €/kg
				5,39 %
YLEISKULUT				
MUUT MUUTTUVAT JA KIINTEÄT KULUT YHTEENSÄ:				
	100 000 €			
Tuotteeseen kohdistettava osu	100 %			100 000 €
OSUUS YRITYKSEN VELOISTA:	100 000 €			
Korko	10 %			10 000 €
TULOS YLEISKULUJEN JÄLKEEN				9 734 €
				0,03 €/kg
				0,44 %

⁶ (-1,21% = kuinka paljon raaka-ainekulut ja palkkakulujen tuottavuus paranee yhteensä kun saanto paranee 1% yksikön; laskettu yllä esitetyn kalanjalostuslaitoksen kustannustekijäoletuksien perusteella, jossa raaka-ainekustannusten osuus 77% ja työ- ja ylläpidon kustannusten osuus 9% jalostuksen kustannuksista)

Fileesaannon taloudelliset vaikutukset

Välituotehinta €/kg*(saantoHigh %-vertaileva saanto %*100*-kustannuksen muutos %, kun saanto muuttuu yhden prosenttiyksikön

Vege: 6,81€/kg(22,8 %-22,9 %)*100*--1,21 %*

Low: 6,81€/kg(22,8 %-24,5 %)*100*--1,21 %*

Trimmauksen taloudelliset vaikutukset

Välituotehinta €/kg*(saantoHigh %-vertaileva saanto %*100*-kustannuksen muutos %, kun saanto muuttuu yhden prosenttiyksikön.

*Vege: (6,81*1,23/(1-11,4 %) €/kg*(11,4 %-11,5 %)*100*--1,21 %*

*Low: (6,81*1,23/(1-11,4 %) €/kg*(11,4 %-10,4 %)*100*--1,21 %*

Savustuksen taloudelliset vaikutukset

Välituotehinta €/kg*(saantoHigh %-vertaileva saanto %*100*-kustannuksen muutos % kun saanto muuttuu yhden prosenttiyksikön

*Vege: (6,81*1,23*1,23/(1-11,4 %)/(1-13 %) €/kg*(13 %-13,1 %)*100*--1,21 %*

*Low: (6,81*1,23*1,23/(1-11,4 %)/(1-13 %) €/kg*(13 %-14,6 %)*100*--1,21 %*