



Luonnonvara- ja  
biotalouden  
tutkimus 51/2017

## Kalan elintarvikejalostuksen sivutuote- virtojen jalostaminen kalaöljyksi

Jaakko Hiidenhovi, Kaija Saarni, Juha Koskela, Anna-Liisa Välimaa,  
Markus Kankainen, Eila Järvenpää, Jari Setälä, Nora Pap, Pirjo Mattila,  
Tuomo Tupasela, Auli Lehtonen ja Paula Laaksonen

# **Kalan elintarvikejalostuksen sivutuotevirtojen jalostaminen kalaöljyksi**

Jaakko Hiidenhovi, Kaija Saarni, Juha Koskela, Anna-Liisa Välimaa,  
Markus Kankainen, Eila Järvenpää, Jari Setälä, Nora Pap, Pirjo Mattila,  
Tuomo Tupasela, Auli Lehtonen ja Paula Laaksonen



Hiidenhovi, J., Saarni, K., Koskela, J., Välimaa, A.-L., Kankainen, M., Järvenpää, E., Setälä, J., Pap, N., Mattila, P., Tupasela, T., Lehtonen, A. & Laaksonen, P. 2017. Kalan elintarvikejalostuksen sivutuote-virtojen jalostaminen kalaöljyksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2017. 37 s.

ISBN: 978-952-326-448-9 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-449-6 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-449-6>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Jaakko Hiidenhovi, Kaija Saarni, Juha Koskela, Anna-Liisa Välimaa, Markus Kankainen, Eila Järvenpää, Jari Setälä, Nora Pap, Pirjo Mattila, Tuomo Tupasela, Auli Lehtonen, Paula Laaksonen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2017

Julkaisu vuosi: 2017

Kannen kuva: Auli Lehtonen

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

## Tiivistelmä

Jaakko Hiidenhovi<sup>1</sup>, Kaija Saarni<sup>2</sup>, Juha Koskela<sup>2</sup>, Anna-Liisa Välimaa<sup>4</sup>, Markus Kankainen<sup>2</sup>, Eila Järvenpää<sup>1</sup>, Jari Setälä<sup>2</sup>, Nora Pap<sup>1</sup>, Pirjo Mattila<sup>2</sup>, Tuomo Tupasela<sup>1</sup>, Auli Lehtonen<sup>1</sup>, Paula Laaksonen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Luonnonvarakeskus Luke, Humppilantie 14, 31600 Jokioinen

<sup>2</sup> Luonnonvarakeskus Luke, Itäinen Pitkäkatu 3, 20520 Turku

<sup>3</sup> Luonnonvarakeskus Luke, Survontie 9 A, 40500 Jyväskylä

<sup>4</sup> Luonnonvarakeskus Luke, Paavo Havaksen tie 3, 90570 Oulu

Tässä työssä selvitettiin mahdollisuuksia hyödyntää kalanjalostusteollisuuden elintarvikelaatuisia sivutuotevirtoja kalaöljyn tuotannossa, öljyn markkinoita ja arvioitiin toiminnan kannattavuutta.

Maailmalla tuotetaan kalaöljyä noin miljoonaa tonnia vuodessa. Valtaosa kalaöljystä on peräisin valtameristä pyydetyistä kaloista ja määrästä noin neljännes saadaan elintarvikekäyttöön menevien kalojen sivutuotevirroista. Kalaöljystä eristettyjen EPA- ja DHA-rasvahappojen kokonaismäärän arvioidaan olevan 200 tuhatta tonnia. Nykyisin kalanviljely käyttää kolme neljäsosaa ja ihmiset yhden neljäsosan tuotetusta kalaöljystä. Kalaöljymarkkinoiden suurin ja kasvava markkinasegmentti on terveystuotteet: ravintolisät ja terveysvaikuttaiset elintarvikkeet. Lisäksi kalaöljyä käytetään lääkkeiden sekä imeväisikäisten ravinnon ja lemmikkieläinten rehun valmistamiseen. Suomen kalaöljypohjaisia ravintolisämarkkinoita on vaikea arvioida, sillä kattavia myyntilukuja ei tilastoida. Markkinoilla on lukuisia kalaöljypohjaisia ravintolisätuotteita ja niiden sisältämän öljyn laadussa (EPA + DHA-pitoisuus) ja öljyn vähittäismyyntihinnassa (€/kg) on paljon vaihtelua.

Suomen kalanjalostusteollisuuden jalostama kalamäärä oli vuonna 2015 73 miljoonaa kiloa, josta kasvatetun kalan osuus oli 54 miljoonaa kiloa. Kasvatetun kirjolohen ja lohen jalostustoiminnasta muodostui elintarvikekelpoisia sivutuotteita (selkärudot, pää ja vatsalieve) noin 11 miljoonaa kiloa.

Tässä työssä tutkittiin eri prosessiolosuhteiden vaikutusta sivutuotevirroista saatavan öljyn määrään ja laatuun. Kokeissa testattiin uuttolämpötilan, uuttoajan ja lisätyn entsyymin määrän ja laadun vaikutuksia öljysaantoon. Lähtömateriaalina käytettiin kalanjalostuslaitokselta saatuja lohen ja kirjolohen sivutuotteita ja uutot tehtiin laboratoriotio- ja pilottimittakaavassa. Vatsaliepeiden öljypitoisuus oli tutkituista sivutuotteista korkein (45–50 %) eikä sivutuotteiden välillä ollut eroja EPA ja DHA-pitoisuuksissa. Tämän vuoksi jatkotyöt tehtiin vatsaliepeillä. Prosessiolosuhteet eivät vaikuttaneet kalaöljyn rasvahappokoostumukseen, joten periaatteessa kaikki testatut entsyymit soveltuvat kalaöljyn tuottamiseen, koska niillä saadaan vähintään 75 % öljysaanto 60 minuutissa alhaisella entsyymikoncentraatiolla (0,05 %) käyttäen matalia lämpötiloja (50–55 °C). Näissä prosessiolosuhteissa tuotettu kalaöljy on myös korkealaatuista (alhaiset PL- ja AL-arvot) entsyymin inaktivoinnista huolimatta. Koska inaktivointi alentaa eristetyn öljyn laatua hieman, niin kalaöljyn laadun optimoimiseksi öljy kannattaisi eristää hydrolysaatista ennen entsyymin inaktivointia.

Lohen ja kirjolohen vatsaliepeet sisältävät runsaasti (45–50 %) rasvaa soveltuen siten erittäin hyvin kalaöljyn raaka-aineeksi. Tehdyissä pilotointikokeissa öljyn saanto oli 75–80 %. Saantoa on mahdollista parantaa menetelmien optimoinnilla. Tuore kalaöljy oli laadultaan erinomaista täyttäen ihmiskäyttöön tarkoitetun korkealaatuisen kalaöljyn kriteerit. Myös öljynerotusprosessin sivutuotteena syntyvät vesifaasi ja sakka ovat potentiaalisia lisäarvotuotteita. Vaikka pelkkään kuumennuskäsittelyyn perustuvalla öljyn eristysmenetelmällä on mahdollista tuottaa korkealaatuista kalaöljyä ihmiskäyttöön, niin entsyymaattiseen hydrolyysiin perustuva menetelmällä on enemmän kaupallista potentiaalia, koska sen avulla on mahdollista tuottaa bioaktiivisia peptidejä. Mahdollisissa jatkohankkeissa tulisi pyrkiä optimoimaan eristysmenetelmiä paremman öljysaannon lisäksi myös vesifaasin/sakan

sisältämien bioaktiivisten ominaisuuksien suhteen. Öljyisaantoa on mahdollista kasvattaa myös ottamalla talteen myös vesifaasin sisältämä öljy esimerkiksi keraamisten kalvosuodattimien avulla.

Suomessa syntyy vuosittain noin 13,7 miljoonaa kiloa kirjolohi- ja lohijalostusteollisuuden sivuvirtaa, josta 2,1 miljoonaa kiloa on vatsaliepeitä. Jo 1 miljoonasta kilosta vatsaliepeitä voidaan eristää 360–400 tonnia kalaöljyä, joka puolestaan sisältää 25–28 tonnia EPA- ja DHA-rasvahappoja.

Asiasanat: kalan jalostuksen sivutuotevirrat, entsyymikäsittely, kalaöljy, vatsaliepeet

# Sisällys

<b>1. Johdanto .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Kalajalostuslaitosten jalostama kalamäärä ja toiminnan sivutuotevirrat .....</b>	<b>7</b>
2.1. Kirjolohen ja lohen jalostuksen sivutuotevirrat .....	7
<b>3. Kalaöljyn elintarvikemarkkinat .....</b>	<b>9</b>
3.1. Omega-3 rasvahappoja sisältävien öljyjen kysyntä kasvaa .....	9
3.2. Kalaöljyn tuotanto ei tule kasvamaan .....	10
3.3. Suomen kalaöljypohjaiset ravintolisämarkkinat .....	10
3.4. Suomalaisten toimijoiden näkemyksiä .....	11
<b>4. Sivutuotevirroista eristetyn kalaöljyn saanto ja laatu .....</b>	<b>12</b>
4.1. Kalaöljyn teollisia valmistusprosesseja .....	12
4.2. Laboratoriotason erotusprosessi .....	13
4.2.1. Laboratoriotason erotusprosessi ja analyysit .....	13
4.2.2. Lämpö- ja entsyymikäsittelyn vaikutus öljyisaantoon .....	14
4.2.3. Lämpö- ja entsyymikäsittelyn vaikutus kalaöljyn laatuun .....	15
4.2.4. Lämpö- ja entsyymikäsittelyn vaikutus kalaöljyn rasvahappokoostumukseen .....	16
4.2.5. Yhteenveto .....	17
4.3. Pilottikokeita .....	18
4.3.1. Kokeet reaktorisäiliöllä .....	18
4.3.2. Pilottisentrifugikoe .....	20
4.3.3. Pilottikokeiden tuloksia .....	22
4.3.4. Yhteenveto .....	24
<b>5. Elintarvikekäyttöön tarkoitetun kalaöljyn hygieniavaatimukset .....</b>	<b>26</b>
5.1. EU:n hygieniasäädökset koskien elintarvikekäyttöön tarkoitettua kalaöljyä .....	26
5.2. Raaka-aineiden biologiset vaarat .....	27
5.3. Biologiset vaarat kalaöljyn valmistusprosessissa .....	28
<b>6. Elintarvikekalaöljyn tuottamisen kannattavuus .....</b>	<b>30</b>
6.1. Esiselvityksen perusteella elintarvikekalaöljyn tuottaminen kannattavaa .....	30
6.2. Elintarvikekalaöljyn tuottamisen kannattavuus kirjolohen ja lohen vatsaliepeistä .....	31
6.3. Huomioitavaa elintarvikekalaöljyn tuottamisen kannattavuudessa .....	34
<b>Viitteet .....</b>	<b>36</b>

# 1. Johdanto

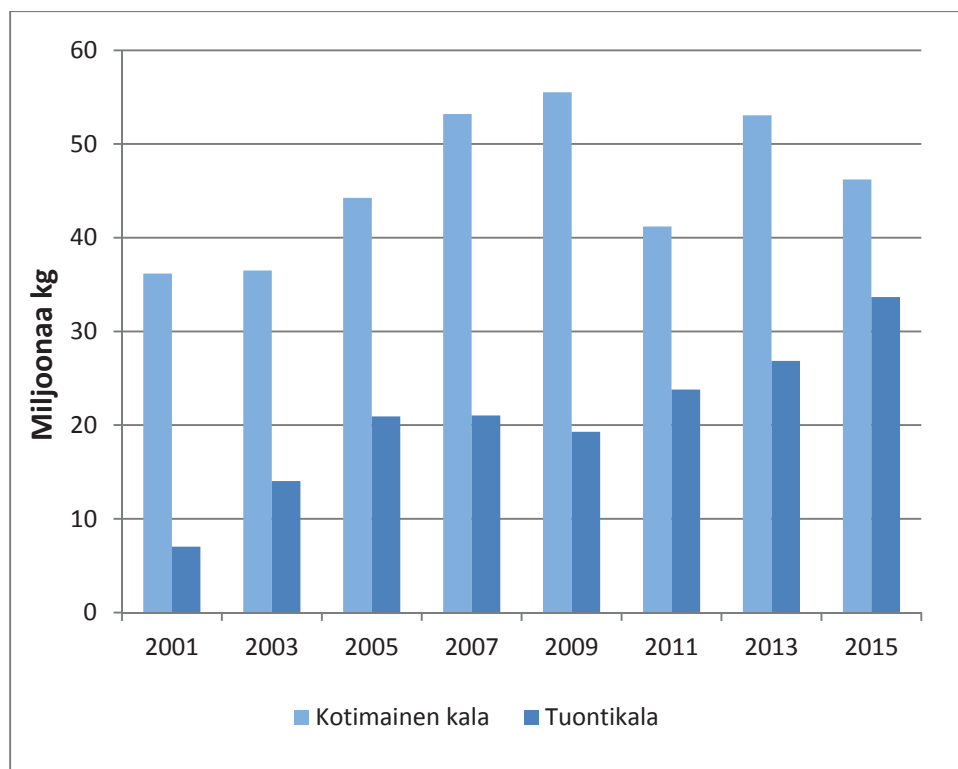
Vesieläintuotteiden globaali kysyntä on kasvanut elintason nousun ja väestömäärän kasvun myötä, ja vuonna 2014 ihmisten ravinnoksi käytettiin noin 146 miljoonaa tonnia kaloja, äyriäisiä ja nilviäisiä. Nykyisin tästä määrästä jo noin puolet tuotetaan vesiviljelyn avulla ja kasvatuksen osuuden ennustetaan jatkavan kasvua myös tulevina vuosina (FAO 2016). Vesieläintuotannon jalostamisesta elintarvikkeiksi syntyy huomattava määrä sivutuotevirtoja ja näiden hyödyntämistä erilaisiksi lisäarvotuotteiksi tutkitaan maailmanlaajuisesti.

Suomessa kasvatettujen lohikalojen tarjonta on lisääntynyt ja niiden jalostuksesta syntyvien elintarvikekelpoisten sivutuotevirtojen määrä kasvanut. Samalla niitä elintarvikkeiksi jalostava teollisuus on keskittynyt suurempiin yksiköihin. Jalostustoiminnan sivutuotevirtoja on hyödynnetty pääasiassa turkiseläinten rehuissa ja elintarvikkeiden raaka-aineena. Nämä sivutuotevirrat tarjoavat mahdollisuuden myös arvokkaampien lisäarvotuotteiden valmistamiseen. Yksi mahdollinen lisäarvotuote on sivutuotevirtojen sisältämä kalaöljy ja erityisesti öljyn sisältämät EPA- ja DHA-rasvahapot. Nämä rasvahapot ovat tärkeitä ihmisen ravitsemukselle ja muodostavat merkittävän ravintolisätuoteryhmän.

Tässä raportissa selvitetään kalanjalostusteollisuudessa syntyvien elintarvikekelpoisten sivutuotteiden sisältämän kalaöljyn käyttömahdollisuuksia. Raportissa käsitellään erilaisten kalaöljyn eristysmenetelmien ja erilaisten kalanjalostuksen sivutuotteiden vaikutusta kalaöljyn saantoon ja laatuun muun muassa rasvahappokoostumukseen. Raportissa luodaan myös katsaus Suomen kalaöljypohjaisiin ravintolisämarkkinoihin sekä elintarvikekelpoisen kalaöljyn valmistamiseen liittyvään lainsäädäntöön. Lisäksi tarkastellaan kalanjalostuksen sivutuotevirroista tuotetun kalaöljytuotannon kannattavuutta.

## 2. Kalajalostuslaitosten jalostama kalamäärä ja toiminnan sivutuotevirrat

Jalostukseen käytetyn kalaraaka-aineen määrä on kasvanut vuoden 2001 43,2 miljoonasta kilosta aina 80 miljoonaan kiloon vuonna 2015 (Kuva 1). Tärkeimmät jalostetut kalalajit ovat silakka, kilohaili, kirjolohi ja lohi ja niiden yhteenlaskettu osuus jalostusmäärästä on ollut 83–94 %. Vuosien 2001–2015 aikana silakan ja kilohailin jalostusmäärä on vaihdellut 20–36 miljoonan kilon välillä ja jalostuksen kokonaismäärän kasvu on johtunut pääasiassa lisääntyneestä kasvatetun kalan käytöstä. Kirjolohen jalostusmäärä on kasvanut 12,4 miljoonasta kilosta 22,9 miljoonaan kiloon ja lohien jalostusmäärä 7 miljoonasta kilosta 31,5 miljoonaan kiloon (Suomen virallinen tilasto (STV) 2016).



**Kuva 1.** Kalajalostusteollisuuden käyttämä kotimainen ja tuontikala vuosina 2001–2015 (Suomen virallinen tilasto (SVT) 2016).

Kalanjalostusteollisuus on verrattain keskittynyttä ja isojen jalostuslaitosten merkitys on kasvanut edelleen. Vuonna 2001 jalostuslaitoksia oli 226 kappaletta, mutta vuonna 2015 enää 135 laitosta. Samalla yli miljoona kiloa vuodessa jalostavien laitosten määrä oli noussut 13:sta 22:en ja isojen jalostuslaitosten osuus jalostetun kalan kokonaismäärästä kasvanut 62 prosentista 92 prosenttiin (Suomen virallinen tilasto (SVT) 2016).

### 2.1. Kirjolohen ja lohien jalostuksen sivutuotevirrat

Kalajalostusteollisuus käytti vuonna 2015 noin 54 miljoonaa kiloa kirjolohta ja lohta fileiden ja jatkojalosteiden raaka-aineeksi. Tästä jalostusmäärästä sivutuotteita muodostui arviolta yli 13 miljoonaa kiloa (Taulukko 1). Suurimmat sivutuotemäärät tulivat kalojen päistä (5,2 milj. kg), selkäruodon lihasta (3,8 milj. kg) ja trimmausjäänöksestä (vatsalieve) (2,1 milj. kg). Perkeiden, ruotojen ja nahan määrä oli yhteensä 2,6 milj. kg (Suomen virallinen tilasto (SVT) 2016).



**Taulukko 1.** Karkea arvio kirjolohi- ja lohijalostusteollisuuden sivutuotemääristä (1 000 kg) 2015. Sivutuotemäärät on arvioitu Vielma ym. 2013 käyttämien suhteellisten osuuksien ja vuoden 2015 kirjolohen ja lohen jalostusmäärien avulla (Suomen virallinen tilasto (SVT) 2016).

Sivutuote (milj. kg)	Kirjolohi	Lohi	Yhteensä	%
Perkeet	986		986	7
Ruodot	444	756	1 200	9
Selkäruodon liha	1 492	2 325	3 818	28
Pää	2 133	3 052	5 185	38
Vatsalieve	782	1 350	2 131	16
Nahat	226	149	375	3
<b>Yhteensä</b>	<b>6 063</b>	<b>7 632</b>	<b>13 695</b>	<b>100</b>

Kalan elintarvikejalostuksen sivutuotevirtojen hyödyntämismahdollisuudet ovat parantuneet viime vuosien aikana. Kalajalostuksen volyymien kasvu on lisännyt toiminnasta muodostuvia sivutuotemääriä. Myös jalostustoiminta on keskittynyt suurempiin yksiköihin, mikä helpottaa sivutuotevirtojen hyödyntämistä. Lisäksi kasvatetun kalan jalostuksessa toiminta on ympärivuotista, mikä tarjoaa tasaisen sivutuotevirran arvotuotteita kehittämiseen ja valmistamiseen markkinoille.

### 3. Kalaöljyn elintarvikemarkkinat

Kalaöljyn maailman laajuinen tuotanto on vakiintunut noin 1 miljoonaan tonniin vuodessa. Valtaosa kalaöljystä on peräisin valtameristä pyydetyistä kaloista ja määrästä noin neljännes saadaan elintarvikekäyttöön menevien kalojen sivutuotevirroista. Etelä-Amerikka ja Aasia tuottavat noin puolet kalaöljystä (Pike & Jackson 2010). Nykyisin kalanviljely käyttää kolme neljäsosaa ja ihmiset yhden neljäsosan tuotetusta kalaöljystä. Siitä valmistetaan pääasiassa terveystuotteita ja osa käytetään tekniisiin tarkoituksiin. Kalanviljelyn osuuden ennustetaan laskevan, sillä terveystuotemarkkinat kasvavat nopeasti ja kalaöljyn hinta on terveystuotemarkkinoilla muita markkinasegmenttejä korkeampi (Shepherd ym. 2017).

Terveystuotteissa kalaöljyä arvostetaan lähinnä sen sisältämien omega-3 rasvahappojen takia. Kalat eivät pysty muodostamaan näitä rasvahappoja aineenvaihdunnan kautta, vaan saavat ne ravinnosta. Ravintolisien valmistuksessa käytetään pääasiassa rasvaisia valtamerikalalajeja, kuten Perun rannikolta pyydettyjä sardelleja (anjovis) ja pohjoiselta Atlantilta pyydettyjä sillejä ja villakuoreita (taulukko 2). Kasvatetun kalan rasvahappokoostumus vastaa pitkälti rehun rasvahappokoostumusta. Nykyiset rehut sisältävät usein kasvi- ja kalaöljyjen seosta, mistä johtuen kasvatetun kalan omega-3 pitoisuudet voivat olla merikalaja matalampia.

**Taulukko 2.** Ravintolisien valmistamiseen käytettyjen kalalajien sisältämän kalaöljyn omega-3 rasvahappojen pitoisuuksia (Silva ym. 2011).

Rasvahappo	Kalalaji		
	Sardelli	Silli	Villakuore
ALA 18:3	1,8	2	0,2
EPA 20:5	7,6–22	3,9–15,2	6,1–8
DPA 22:5	1,6–2,0	0,8	0,6
DHA 22:6	9,0–12,7	2,0–7,8	3,7–6,0
Omega-3	18,2–36,7	8,7–25,8	10,6–14,8

Kokonaiskalaöljytuotanto sisältää EPA- ja DHA-rasvahappoja noin 170 000 tonnia. Näistä rasvahapoista käytetään kalaöljyn muodossa 50 000 tonnia lohikalajien rehujen valmistukseen, 50 000 tonnia muiden vesiviljelylajien rehujen valmistukseen ja 61 000 tonnia ravintolisien valmistukseen. Loput käytetään tekniisiin tarkoituksiin (Shepherd ym. 2017).

#### 3.1. Omega-3 rasvahappoja sisältävien öljyjen kysyntä kasvaa

Tieteellisesti todistetut terveysvaikutukset ovat lisänneet omega-3 rasvahappoja sisältävien kasvi- ja kalaöljyjen kysyntää. Vuonna 2014 kansainvälisten markkinoiden koko oli 1.82 miljardia USD ja niiden odotetaan lähes kaksinkertaistuvan vuoteen 2022 mennessä. Aasian markkinoiden ennakoitaan kasvavan voimakkaimmin (Grand View Research, Inc. 2016a ja 2016b).

Öljymarkkinoiden suurin markkinasegmentti on terveystuotteet, eli ravintolisät ja terveysvaikutteiset elintarvikkeet. Ravintolisät luokitellaan elintarvikkeiksi, mutta niiden käyttötapa poikkeaa muista elintarvikkeista. Lisäksi öljyä käytetään lääkkeiden sekä imeväisikäisten ravinnon ja lemmikkieläinten rehun valmistamiseen (Grand View Research, Inc. 2016a).

Terveystuotteissa käytettävät kasvi- ja kalaöljyt sisältävät ravitsemuksellisesti tärkeitä omega-3 ryhmän rasvahappoja. Tärkeimmät rasvahapot ovat alfa-noleenihappo (ALA, 18:3) eikosapentaeenihappo (EPA, 20:5) ja dokosaheksaeenihappo (DHA, 22:6). Öljyn omega-3 rasvahappojen kokonaismäärä ja -koostumus riippuu öljyn valmistuksessa käytetyistä raaka-aineista. Kasviöljyt sisältävät korkeita ALA-pitoisuuksia, mutta niiden EPA- ja DHA-rasvahappopitoisuudet ovat alhaiset tai ne puuttuvat kokonaan. Luonnonkaloista saatava kalaöljy sisältää lajista riippuen noin 10–30 % omega-3 ryhmän rasvahappoja, joista suurin osa on EPA- ja DHA-rasvahappoja (Turchini ym. 2011).

Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen EFSA:n tieteellisen panelin arvioinnin mukaan EPA:n ja DHA:n yhteenlaskettu saanti esimerkiksi ravintolisistä ja ravinnosta voi aikuisilla olla jopa 5 g/vrk ilman, että haittavaikutuksia ilmenee (EFSA, 2012). Tässä arviossa käyttömäärää nostettiin aikaisemmasta 3 g/vrk maksimiannoksesta. Noston syynä oli se, että tiettyihin terveysvaikutuksiin, kuten verenpaineen ja veren triglyseridiarvojen alentamiseksi, osoitetut päivittäiset annokset ovat 2-4 g/vrk. Lapsille sekä raskaana oleville ja imettäville äideille tarkoitetut annokset ovat pienempiä (EFSA, 2012). Päätöksen jälkeen annoskoko kasvoi ravintolisissä. Maksimimäärä tarkoittaa aika suurta määrää kalaöljyä päivittäin, ja se voi aiheuttaa ruuansulatuksellisia ongelmia joillekin ihmisille. Luonnollisten öljyjen lisäksi markkinoilla onkin enenevässä määrin konsentroituja öljyjä, joissa erilaisin kemiallisin ja fysikaalisin tekniikoin on lisätty EPA:n, DHA:n ja DPA:n määrää suhteessa muihin rasvahappoihin.

### 3.2. Kalaöljyn tuotanto ei tule kasvamaan

Maailmalla tuotetaan kalaöljyä noin miljoonaa tonnia. Kalaöljystä eristettyjen EPA- ja DHA-rasvahappojen kokonaismäärän arvioidaan olevan 200 tuhatta tonnia. Euroopan tuotannon arvioidaan olevan 37 tuhatta tonnia, jonka raaka-aineesta puolet on sivuvirtoja (IFFO 2016 ja Pike & Jackson 2010). Kalaraaka-aineen hyödyntämistä tehostetaan koko ajan. Tästä huolimatta hyvälaatuisten EPA- ja DHA -rasvahappojen tarjonnan ennustetaan pysyvän vakaana tai jopa vähenevän. Syynä on raaka-aineena käytettävän lajiston muuttuminen. Rasvaisten ulappavesien kalalajein ennustetaan korvautuvan rasvapitoisuudeltaan sekä rasvahappo-ominaisuuksiltaan heikommilla, lähinnä Aasian vesiviljelystä saatavilla kalalajeilla (IFFO 2016).

Öljyn osuus terveystuotteen kokonaiskustannuksista on pieni ja öljyn hinnan merkitys tuotteen kysyntään jää suhteellisen vähäiseksi (FAO 2014, Grand View Research Inc. 2016c, Asche 2016).

### 3.3. Suomen kalaöljypohjaiset ravintolisämarkkinat

Suomen kalaöljypohjaisia ravintolisämarkkinoita on vaikea arvioida, sillä kattavia myyntilukuja ei tilastoida. Maahan tuodun kalaöljyjen tuontimääriä ja -hintoja selvitettiin tullin Ultika-tietokannasta. Ravintolisänä tuotua kalaöljyä ei ole luokiteltu erikseen.

Tullihallitus tilastoi elintarvikekäyttöön tulevien kalaöljyjen tuontimääriä ja -hintoja. Lisäksi tullin tilastoi Suomeen tuotavat kapseloidut ravintolisät, mutta ei luokittele niistä kalaöljykapseleita. Tilastot ovat niin karkeita, että hinta- ja volyymiarviota ei voida tehdä (taulukko 3 ja 4).

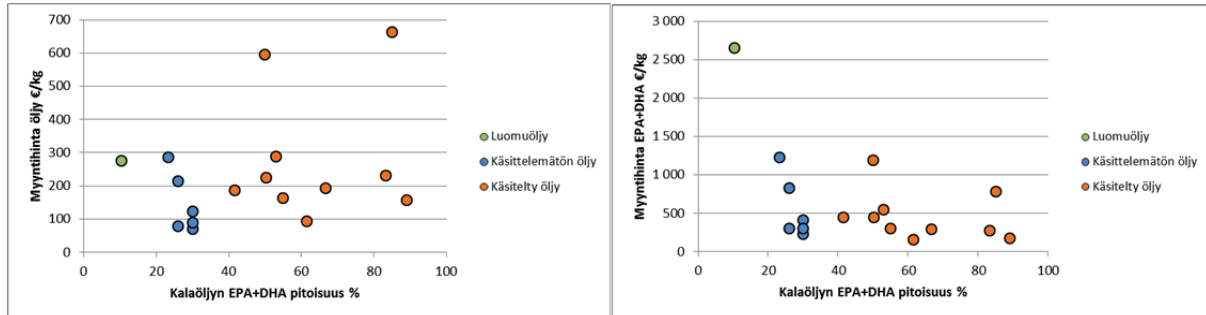
**Taulukko 3.** Päällystetyt ravintolisäkapselit. Luokka sisältää kalaöljykapseleiden lisäksi myös muut kalvopäällysteiset kapselit. Tuonti vuodelta 2015. (Tullin koodi: 21069092, Food preparations, n.e.s., not containing milkfats, sucrose, isoglucose starch or glucose or containing, by weight, < 1,5% milkfat, < 5% sucrose or isoglucose, < 5% glucose or < 5% starch).

Alkuperämaa	Tuontimäärä	Keskihinta	Hinnan vaihtelu
Islanti	22 000 kg	33 €/kg	26–38 €/kg
Norja	150 000 kg	40 €/kg	20–72 €/kg
Tanska	500 000 kg	25 €/kg	14 -35 €/kg

**Taulukko 4.** Elintarvikekäyttöön tarkoitettu kapseloimaton kalaöljy. Tuonti vuodelta 2015. (Tullin koodi: 15042090, Fish fats and oils and liquid fractions, whether or not refined (excl. chemically modified and liver oils).

Alkuperämaa	Tuontimäärä	Keskihinta	Hinnan vaihtelu
Islanti	21 000 kg	10 €/kg	4–15 €/kg
Norja	143 000 kg	3 €/kg	1–19 €/kg
Tanska	3 000 kg	9 €/kg	7–15 €/kg

Vähittäismyynnissä on tarjolla laaja valikoima omega 3-rasvahappopohjaisia ravintolisä. Suurin osa tarjonnasta on kapseloituja tuotteita, mutta tarjolla on myös kapseloimattomia nesteitä. Tuotteita myydään päivittäistavarakaupassa, erikoisliikkeissä, apteekkeissa ja verkkokaupassa.



**Kuva 2.** Ravintolisäkapseleiden sisältämän kalaöljyn vähittäismyyntihinta ja kapseliöljyn sisältämän EPA ja DHA rasvahappojen vähittäismyyntihinta. Hinta-aineisto on kerätty satunnaisesti valittujen verkkokauppojen ravintolisävalmisteista ja EPA- sekä DHA-pitoisuudet ovat valmistajan ilmoittamia. Kalaöljyt on luokiteltu kolmeen ryhmään; Luomuöljy, käsittelemätön öljy (EPA+DHA -pitoisuus 23,1–30,0 % ja eri menetelmillä käsitelty öljy (EPA + DHA -pitoisuus 41,5–89,1 %).

Tuotteiden EPA- ja DHA -rasvahappopitoisuudessa sekä tuotteiden vähittäishinnoissa on suuria eroja. Kapseleiden sisältämän öljyn hinta vaihteli 70–660 euron välillä per kg ja EPA- ja DHA-rasvahappojen yhteenlaskettu kilohinta vaihteli tuotteesta riippuen 150 ja 2 600 euron välillä. Tuotteiden välisiä hintaneroja ei voida perustella pelkästään kalaöljyn omega 3-rasvahappopitoisuudella, vaikkakin voidaan olettaa, että EPA- ja DHA-rasvahappojen rikastaminen nostaa kalaöljykapselien raaka-aineena käytettävän öljyn hintaa ja sen myötä niiden tuotantokustannuksia (kuva 2.). Todennäköisesti tuotebrändit selittävät eroja kalaöljykapselien sisältämän öljyn tai EPA- + DHA -rasvahappojen vähittäismyyntihinnoissa. Kaksi tarkastelussa ollutta tuotetta oli valmistettu kasvatetun kirjolohen sivutuotevirrasta ja näiden tuotteiden EPA- + DHA -pitoisuudet olivat tarkastelluista tuotteista pienimmät. Tuotteita myytiin luomukalaöljynä tai korostettiin öljyn tuoreutta ja nopeaa tuotantokiertoa kalojen teurastuksesta öljyn valmistukseen.

### 3.4. Suomalaisten toimijoiden näkemyksiä

Suomen kalanjalostuslaitoksilla syntyy elintarvikelaatuista sivutuotevirtaa, joka soveltuu ravintolisinä käytettävien rasvahappojen valmistamiseen. Suuret jalostamot ovat kehittäneet prosesseja ja tehosteet sivutuotevirtojen hyödyntämistä. Pienemmissä jalostamoissa sivutuotevirrat myydään eteenpäin tai niitä syntyy niukasti. Useimmat kalanjalostusyritykset ovat kiinnostuneet lisäämään jalostuksessa syntyvien sivutuotevirtojen arvoa (Kalamarkkinakatsaus 2015)

Suomessa toimii myös luontaistuotteita ja ravintolisä valmistavia tai pakkaavia yrityksiä. Yrityksiä haastateltaessa tuli ilmi, että kotimaassa valmistettu, kasvatetusta kalasta peräisin olevasta kalaöljy kiinnostaa yrityksiä. Kalaöljyn on oltava laadultaan ja hinnaltaan kilpailukykyistä tuontiraaka-aineeseen verrattuna. Lisäksi rasvahappokoostumuksen on oltava sopiva ja raskasmetalli- ja ympäristömyrkkypitoisuuksien on jätävä alle raja-arvojen (vrt. EVIRA ohje 2016). Kotimaassa valmistetun kalaöljyn tai luomuraaka-aineesta valmistetun kalaöljyn markkinamadollisuuksia pidettiin mielenkiintoisina, vaikka niiden rasvahappopitoisuudet eivät nousisikaan korkeiksi.

## 4. Sivutuotevirroista eristetyn kalaöljyn saanto ja laatu

### 4.1. Kalaöljyn teollisia valmistusprosesseja

Pääosa maailman rehukäyttöön tarkoitettua raakakalaöljystä (crude fish oil) tuotetaan renderoimällä ns. märkäpuristusmenetelmällä kalajauhon valmistusprosessin yhteydessä. Hyvälaatuisen ihmiskäyttöön tarkoitettua kalaöljyn edellytyksenä on tuore raaka-aine. Esimerkiksi kalasivuvirrat pyritään kuljettamaan perkuun jälkeen öljynjalostustehtaalte muutamassa tunnissa. Raaka-aineen laatua voidaan myös parantaa jäähdyttämällä saalis mahdollisimman tehokkaasti (Rustad ym. 2011).

Korkealaatuista, ihmisravinnoksi tarkoitettua, öljyä valmistetaan teollisesti pääasiassa kolmella eri menetelmällä (Rustad ym. 2011). Ensimmäisessä menetelmässä öljy erotetaan kalamassasta lämpötilan avulla. Käytetyt lämpötilat ovat kuitenkin alhaisempia (70–90 °C) kuin perinteisessä kalajauheprosessissa. Puristeruuvien sijasta lämmitetty massa pumpataan suoraan dekantteriin tai trikantteriin. Dekantteri erottaa massan ensiksi kiinteään ja nestemäiseen jakeeseen. Tämän jälkeen nestemäinen jae pumpataan separaattoriin, joka erottaa öljyn ja veden toisistaan. Dekantterin sijasta voidaan käyttää trikantteria, joka erottaa lämmitetyn massan suoraan kolmeen faasiin: kiinteä, neste ja öljy. Etuna tässä matalammassa lämpötilassa tehdyssä erotusprosessissa on öljyn erittäin alhainen hapetustila (peroksidiluku ja anisidiiniluku alle 1) ja vapaiden rasvahappojen alempi pitoisuus verrattuna esimerkiksi sekä kalajauhon että säilörehun valmistusprosessin yhteydessä saatavaan kalaöljyyn.

Toisessa teollisessa prosessissa kalaraaka-aine hydrolysoidaan kaupallisten proteolyttisten entsyymien ja kalan omien (endogeenisten) entsyymien avulla 40–60 °C:ssa. Hydrolyysi lopetetaan kuumentamalla seos 90 °C:seen, jolloin entsyymit inaktivoituvat. Entsyymien inaktivoinnin jälkeen öljy, vesiliukoinen hydrolysaatti ja liukenematon sakka erotetaan dekantterilla/trikantterilla, kuten edellä on kuvattu. Tämän prosessin päätuote on proteiinihydrolysaatti, joten prosessi yleensä optimoidaan niin hydrolysaatin saannon kuin öljyn laadun suhteen. Esimerkiksi verrattuna edellä kuvattuun erotusprosessiin kalaraaka-aineiden oma lipaasi on edelleen aktiivinen hydrolyysiprosessin aikana, mikä lisää vapaiden rasvahappojen määrää öljyssä. Vapaat rasvahapot hapettuvat helposti, mikä osaltaan myös huonontaa öljyn laatua.

Kolmas öljyn valmistusprosessi on kahden edellisen menetelmän yhdistelmä. Tässä prosessissa pääosa öljystä erotetaan ensiksi korkealaatuisena (premium) öljynä kuumentamalla raaka-aine 70–90 °C:seen, jonka jälkeen denaturoitu proteiini hydrolysoidaan kaupallisilla proteaaseilla 40–60 °C:ssa. Entsyymien inaktivoinnin jälkeen loput öljystä, vesiliukoinen hydrolysaatti ja liukenematon sakka fraktoidaan erilleen. Prosessin etuna ovat korkealaatuisen öljyn tuotto ja se, etteivät endogeeniset entsyymit häiritse proteiinihydrolyysiä. Hydrolysaattien koostumus ja ominaisuudet ovat toistettavimpia, vaikka saannot ovat alhaisempia. Molemmilla entsyymimenetelmillä tuotetut hydrolysaatit voidaan varastoida alentamalla niiden vesipitoisuus haihduttamalla 50 %:iin.

Kalajauheen valmistusmenetelmän lisäksi myös muissa kalaproteiinijakeiden valmistusprosesseissa syntyy sivutuotteena kalaöljyä. Monissa näissä menetelmissä kalaöljyn laadun suhteen ongelmia aiheuttavat muun muassa prosesseissa käytetyt korkeat erotuslämpötilat (rasvahapot pilkkoutuvat lämmön vaikutuksesta ja hapettuvat herkästi) tai mahdolliset liuotinjäämät lopputuotteessa. Myös ylikriittinen uutto (Supercritical Fluid Extraction, SFE) on mielenkiintoinen vaihtoehto korkealaatuisen kalaöljyn tuotantoon (Lettis ym. 2006, Rubio-Rodríguez ym. 2008). SFE-menetelmän etuna on se, että uutossa käytetään matalia lämpötiloja ja hiilidioksidiä, mitkä vähentävät n-3 rasvahappojen hapettumista. Säätelämällä fluidin tiheyttä menetelmällä voidaan selektiivisesti uuttaa poolittomia lipidejä tai käyttää kalaöljyn puhdistuksessa poistamaan muun muassa vapaita rasvahappoja (Catchpole ym. 2000, Jakobsson ym. 1991, Jakobsson ym. 1994, Kawashima ym. 2006, Yuqian & Huashi 2001). SFE-menetelmän ongelmana ovat korkeat kustannukset tuotantomittakaavassa, johtuen erityisvaatimuksista sekä laitteiston (korkeapaine) että raaka-aineen (pakkaskuivaus ≤ 20 %:n kosteuteen) suhteen (Rubio-Rodríguez ym. 2008).

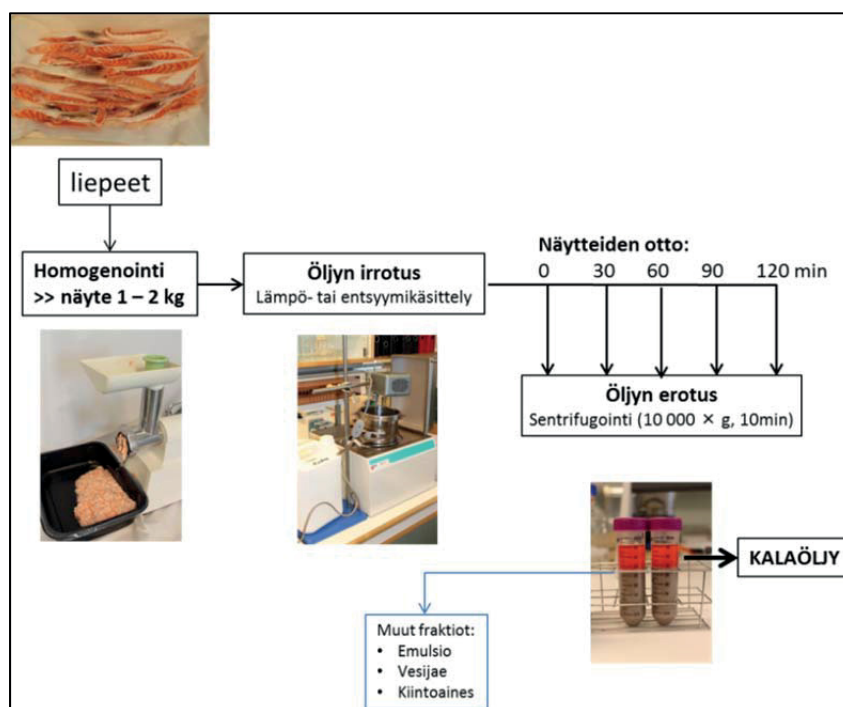
## 4.2. Laboratoriotason erotusprosessi

Kokeissa kalaraaka-aineena käytettiin Norjan lohen (*Salmo salar*) fileoinnin yhteydessä syntyvää sivutuotevirtaa (vatsaliepeitä tai päitä) sekä kotimaisen kirjolohen (*Oncorhynchus mykiss*) vatsaliepeitä. Laboratoriokokeidessa testattiin sekä lämpö- että entsyymikäsittelyn vaikutusta öljyn erottumiseen kalamassasta. Lämpötilan noustessa proteiinit denaturoituvat eli niiden rakenne hajoaa. Denaturoitumisesta johtuva lihaskudoksen rakenteen hajoaminen edesauttaa öljyn vapautumista. Tutkimuksessa käytetyt kaupalliset entsyymit olivat proteaaseja eli ne pilkkovat kalan proteiineja pienemmiksi yksiköiksi (peptideiksi ja aminohapoiksi) hajottaen siten lihaskudosta enemmän kuin pelkkä kuumenus. Proteaasit toimivat matalissa lämpötiloissa ( $\leq 55$  °C) ja hydrolyysin kesto on lyhyt. Lisäksi entsyymäattisessä hydrolyysissä syntyvä vesiliukoinen hydrolysaatti on sekä ravitsemuksellisen laatunsa että bioaktiivisen potentiaalinsa vuoksi mahdollinen lisäarvotuote.

### 4.2.1. Laboratoriotason erotusprosessi ja analyysit

Laboratoriotason erotusprosessi koostui kolmesta vaiheesta (kuva 3):

- 1) Homogenointi. Näytteet jauhettiin lihamylyllä tasaiseksi kalamassaksi
- 2) Öljyn irrotus. Jauhettua kalamassaa punnittiin 1–2 kg teräsastiaan, joka siirrettiin vesihauteeseen, jossa kalamassa kuumennettiin haluttuun koelämpötilaan sekoittaen sitä samalla lapasekoittimella. Lämpökäsittelyssä kalamassaa inkuboitiin koelämpötilassa 30–120 min. Entsyymikäsittelyssä kalamassaan lisättiin entsyymiä, kun haluttu lämpötila oli saavutettu ja inkubointia jatkettiin samoin 30–120 min. Kokeissa käytettiin seuraavia entsyymejä: Alcalase (Novozymes, Tanska), Protamex (Novozymes, Tanska), Ermitase 1 (Meatco BV, Hollanti), Ermitase 2, (Meatco BV, Hollanti), Endocut-03L (Meatco BV, Hollanti) ja Exocut BL (Meatco BV, Hollanti). Entsyymikonsentraatio (E/S) vaihteli kokeissa 0,01–0,3 % välillä.
- 3) Öljyn erotus. Sekä lämpö- että entsyymikäsittelystä kalamassasta otettiin näytteitä 0, 30, 60, 90 ja 120 min kohdalla, ja kalaöljy erotettiin muusta kalamassasta sentrifugoimalla (10 000 x g, 10 min) saannon ja öljyn laadun määrittämistä varten.



Kuva 3. Kaavio laboratoriotason erotusprosessista.

Eri erotusprosessien soveltuvuutta verrattiin määrittämällä öljyn saanto ja laatu. Kalaöljyn saanto laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$\text{saanto (\%)} = 100 \times \frac{\text{erottuneen öljyn paino (g)}}{\text{kalamassan kokonaisrasva (g)}}$$

Erottuneen öljyn paino määritettiin kertomalla sentrifugoimalla erottuneen öljyn tilavuus (ml) öljyn tiheydellä (g/ml), joka saatiin punnitsemalla öljynäytteen (4 ml) paino. Kalamassan kokonaisrasvamäärä analysoitiin kemiallisesti kloroformi/metanoli-uuttomenetelmällä (Folch ym. 1957).

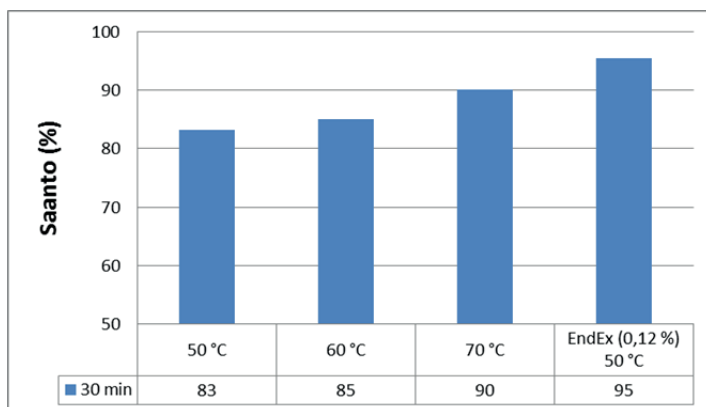
Kalaöljyn laatua (tuoreutta) seurattiin määrittämällä peroksidiluku (PL, AOAC Official Method Cd 8–53) ja anisidiiniluku (AL, AOCS Official Method Cd 18–90). Peroksidi- ja anisidiiniluvun perusteella laskettiin TOTOX-arvo (TOTOX = 2PL + AL).

Kalaöljystä määritettiin myös rasvahappokoostumus kaasukromatografisesti (Shingfield ym. 2003). Erityisesti seurattiin omega-3-rasvahappojen kokonaismäärää sekä EPA:n (eikosapentaeeni, 20:5n-3) ja DHA:n (dokosaheksaeeni, 22:6n-3) määrää.

Lisäksi eri raaka-aineista ja osasta pilottikokeissa syntyneistä fraktioista teetettiin peruskoostumusmääritykset ulkopuolisessa laboratoriossa. Pilottimenetelmillä tuotetuista kalaöljyistä määritettiin myös A- ja E- vitamiini-, astaksantiini- ja raskasmetallipitoisuudet samassa laboratoriossa.

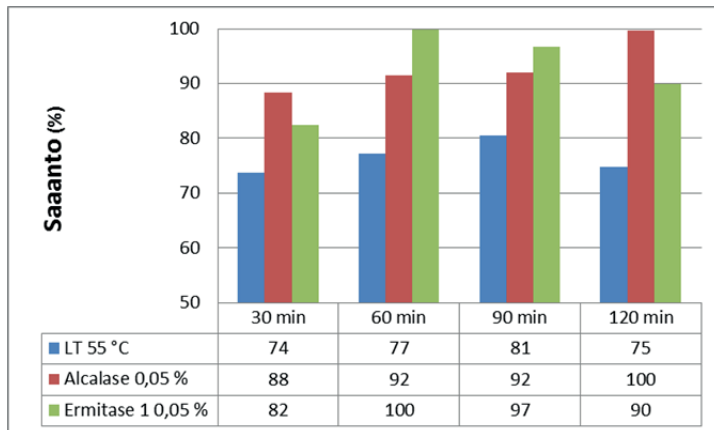
#### 4.2.2. Lämpö- ja entsyymikäsittelyn vaikutus öljysaantoon

Kokeissa testattiin öljyn erottumista eri lämpötiloissa (40–70 °C). Kuten odotettua yleisenä trendinä öljyn saanto kasvoi lämpötilan noustessa. Esimerkiksi kuvassa 4 näkyy, että saanto kasvoi 83 %:sta 90 %:iin lämpötilavälillä 50–70 °C. Toisaalta kuvasta 4 myös nähdään, että entsyymien käyttö lisäsi saantoa pelkkään lämpökäsittelyyn verrattuna noin 12 %. Lisäksi entsyymien avulla saavutettiin 5 % parempi saanto 20 °C alhaisemmalla lämpötilalla. Entsyymien tehokkuudessa on myös eroja: esimerkiksi kuvasta 5 nähdään, että samassa lämpötilassa samalla entsyymikonsentraatiolla Ermitase 1 saavutti 100 % saannon 60 minuutissa, kun Alcalase tarvitsi siihen 120 minuuttia. Pitempi hydrolyysiaika ei siis välttämättä takaa parempaa saantoa. Entsyymien määrän lisäys yleensä parantaa saantoa, esimerkiksi riippuen inkuboinnin pituudesta Alcalasen lisäys kasvatti saantoa 6–12 % (kuva 6). Prosessiolo-suhteiden (entsyymi, lämpötila ja aika) vaikutus öljysaantoon on kuitenkin testattava tapauskohtaisesti ottaen huomioon myös kaupalliset tekijät. Esimerkiksi sekä lämpötilan nosto että entsyymien lisäys parantavat saantoa yhdessä ja erikseen, mutta lisäävät samalla prosessointikustannuksia.

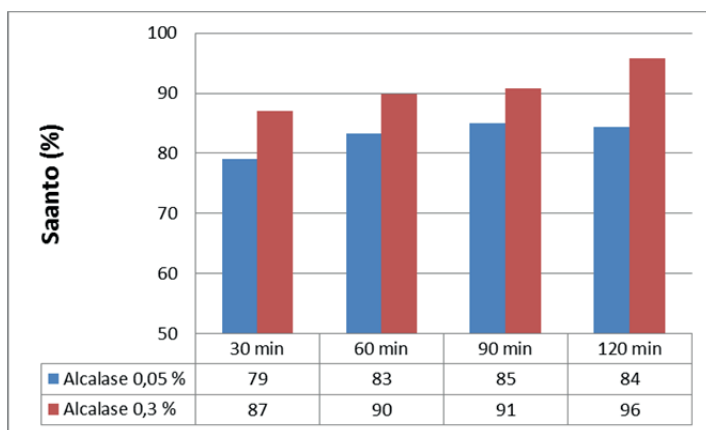


**Kuva 4.** Lämpö- (50, 60 ja 70 °C) ja entsyymikäsittelyn (EndEx [0,012 %], 50 °C) vaikutus öljysaantoon, kun kirjoloihen vatsaliepeitä inkuboitiin 30 min. EndEX (0,12 %) = Endocut-03L (E/S=0,1 %) ja Exocut BL (E/S=0,02 %). Kuvan taulukossa saantoprosentit on esitetty myös numeerisesti.





**Kuva 5.** Eri entsyymien vaikutus öljysaantoon. Lohen vatsaliepeitä hydrolysoitiin entsyymaattisesti 55 °C:ssa 30–120 min kahdella entsyymillä (Alcalase ja Ermitase 1) samalla pitoisuudella (0,05 %). Verrokkina oli pelkkä lämpökäsittely. Saantoprosentit on esitetty taulukossa myös numeerisesti.



**Kuva 6.** Entsyymikonsentraation vaikutus öljysaantoon. Lohen päitä hydrolysoitiin entsyymaattisesti 50 °C:ssa 30–120 min kahdella eri Alcalase-pitoisuudella (0,05 % tai 0,3 %). Saantoprosentit on esitetty taulukossa myös numeerisesti.

#### 4.2.3. Lämpö- ja entsyymikäsittelyn vaikutus kalaöljyn laatuun

Eristetyn kalaöljyn tuoreutta seurattiin määrittämällä peroksidiluku ja anisidiiniluku. Peroksidiluku (PL) kuvaa rasvan hapettumisen alkuvaihetta eli primääristen hapettumistuotteiden määrää. PL ilmaisee siis kalaöljyn hapettumis- eli härskiintymisasteen. Anisidiiniluku (AL) täydentää peroksidilukumäärittystä, koska se mittaa peroksidien hajoamistuotteita eli aldehydien, erityisesti 2-alkenaalien ja 2,4-dienaalien, määrää. AL osoittaa siten kalaöljyn todellisen iän. Peroksidi- ja anisidiiniluvun perusteella laskettiin TOTOX -arvo ( $TOTOX = 2PL + AL$ ), joka kuvaa raakalaöljyn kokonaishärskiintymisastetta. Hyvälaatuisessa lohiöljyssä PL on max 5 mekvO<sub>2</sub>/kg öljyssä ja AL max 10 (Mozuraityte ym. 2016). Tällöin max TOTOX-arvo on 20.

Taulukosta 5 nähdään, että sekä lämpö-että entsyymimenetelmän avulla voitiin tuottaa korkealaatuista kalaöljyä. Käytännössä jo 30 min oli riittävä inkubointiaika saannon suhteen, mutta vielä 60 min käsittelyn jälkeenkin eristetyn kalaöljyn laatu oli hyvä menetelmästä riippumatta. Myös pienempi entsyymikonsentraatio (0,05 %) oli tässä tapauksessa riittävä. Kuumennus 70 °C tuotti laadukkaampaa öljyä entsyymikäsittelyihin verrattuna erityisesti 60 min kohdalla. Todennäköisesti tämä johtui entsyymikäsittelyn alhaisemmasta lämpötilasta, joka sopii myös kalan omille (endogeenisille) entsyymeille, kuten lipaasille. Lipaasi hajoittaa kalan rasvoja ja hajoamistuotteina syntyy mm. vapaita rasvahappoja, jotka hapettuvat herkästi.



**Taulukko 5.** Entsymaattisen hydrolyysin ja lämpökäsittelyn vaikutus kalaöljyn laatuun.

Koeolosuhteet	PL (mek- vO <sub>2</sub> /kg)	AL	TOTOX	Saanto
<b>Ermitase 1 (0,05 %) 55 °C, 30 min</b>	0,0	1,2	1,2	100
<b>Ermitase 1 (0,05 %) 55 °C, 60 min</b>	1,6	1,2	4,4	95
<b>Ermitase 1 (0,1 %) 55 °C, 30 min</b>	0,0	1,2	1,2	100
<b>Ermitase 1 (0,1 %) 55 °C, 60 min</b>	2,7	1,0	6,4	99
<b>Lämpökäsittely 70 °C, 30 min</b>	0,0	0,9	0,9	100
<b>Lämpökäsittely 70 °C, 60 min</b>	0,5	0,8	1,8	79

Entsyymikäsittelyssä hydrolyysi lopetettiin kuumentamalla (85 °C, 10 min). Raaka-aineena käytettiin kirjolohen (640) vatsalievepeitä.

**Taulukko 6.** Inaktiivoinnin vaikutus kalaöljyn laatuun.

Koeolosuhteet	PL (mek- vO <sub>2</sub> /kg)	AV	TOTOX	Saanto
<b>Lämpökäsittely 50 °C, 60 min</b>	0,0	0,4	0,4	87
<b>Lämpökäsittely 50 °C + inakt.*, 60 min</b>	0,0	1,2	1,2	88
<b>EndEx (0,12 %)** 50 °C, 30 min</b>	0,0	0,8	0,8	91
<b>EndEx (0,12 %) 50 °C + inakt., 30 min</b>	0,6	1,2	2,4	91
<b>EndEx (0,12 %) 50 °C, 60 min</b>	0,0	0,9	0,9	92
<b>EndEx (0,12 %) 50 °C + inakt., 60 min</b>	0,5	1,4	2,5	96
<b>EndEx (0,12 %) 50 °C, 120 min</b>	3,9	0,1	7,9	97
<b>EndEx (0,12 %) 50 °C + inakt., 120 min</b>	3,5	2,9	10,0	100

\*inakt. = entsyymin inaktiivointi inkuboinnin lopussa, jolloin seos kuumennettiin 85 °C, 15 min. \*\* EndEx (0,12 %) = Endocut-03L (E/S=0,1 %) ja Exocut BL (E/S=0,02 %). Raaka-aineena käytettiin kirjolohen (722) vatsalievepeitä.

Entsyymihydrolyysin lopuksi entsyymi pitää inaktivoita, jotta proteiinin pilkkoutuminen loppuu. Näin varmistetaan lopputuotteen tasalaatuisuus. Inaktiivointi tapahtuu kuumentamalla (85–90 °C, 10–15 min), jolloin entsyymi denaturoituu. Valitettavasti lämpötilan nousu on kuitenkin yksi öljyn hapettumista lisäävä riskitekijä. Taulukosta 6 nähdäänkin, että inaktiivointi hieman heikensi öljyn laatua koeolosuhteista riippumatta. Toisaalta kaikissa tapauksissa öljy oli vielä hyvälaatuaista. Pisimmällä inkubointiajalla (120 min) tuotetun öljyn peroksidiluku oli kuitenkin jo melko lähellä hyvälaatuiselle öljylle asetettua ylärajaa (5 mekv/kg).

#### 4.2.4. Lämpö- ja entsyymikäsittelyn vaikutus kalaöljyn rasvahappokoostumukseen

Viime vuosina on raportoitu lohi- ja kirjolohiöljyjen pienentyneistä EPA- ja DHA-pitoisuuksista johtuen kalarehujen muutoksista (Sprague ym. 2016). Taulukossa 7 nähdään, että myös tässä kokeessa sekä kotimaisesta että ulkomaisesta (Norjan lohi) kalasivuvirrasta tuotettujen kalaöljyjen EPA- ja DHA-pitoisuudet olivat hyvin pieniä mukaillen siten nykyistä trendiä. Tulokset ovat samalla tasolla kuin eräässä kotimaisessa koirille tarkoitettussa kirjolohiöljyssä, jossa verrokkimittauksessa EPA:n pitoisuudeksi saatiin 1,8 % ja DHA:n pitoisuudeksi 4,5 %.

Taulukosta 8 nähdään, että käytetyllä prosessimenetelmällä (lämpö vs. entsyymi), prosessin kestolla tai käytetyllä entsyymillä on vain vähäinen merkitys eristetyn öljyn koostumukseen (mm. EPA- ja DHA-pitoisuuteen). Suurin merkitys on itse kalaraaka-aineella eli kalalajilla, pyyntiajankohdalla, kalan iällä ja kalarehulla (Usydus ym. 2007).

**Taulukko 7.** EPA:n ja DHA:n osuudet rasvahapoista lohen ja kirjolohen sivutuotteissa.

	EPA (20:5n-3) (g/100g rasvahappoja)	DHA (22:6n-3) (g/100 g rasvahappoja)
Lohen vatsaliepeet	2,2–2,8	2,7–4,4
Lohen päät	2,8–2,9	2,7–4,1
Kirjolohen vatsaliepeet	2,0–2,2	4,2–4,6

**Taulukko 8.** Lohen päistä eristettyjen kalaöljyjen rasvahappokoostumukset.

Rasvahappo	Lohi (344)					Lohi (352)			
	kokonaisrasva	Ei entsyymiä		Alcalase 0,05 %		Protamex 0,05 %		Erimitase 1 0,05 %	
		30 min	90 min	30 min	90 min	30 min	90 min	30 min	90 min
	g/100 g rasvahappoja								
C14:0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,3	2,4	2,4	2,3
C16:0	9,5	9,3	9,2	9,3	9,3	9,3	9,2	9,3	9,3
C18:0	2,4	2,2	2,2	2,3	2,3	2,2	2,1	2,2	2,2
Σ SFA	14,9	14,4	14,4	14,5	14,5	14,6	14,5	14,6	14,6
C16:1	2,4	2,3	2,3	2,4	2,4	2,3	2,3	2,4	2,3
C18:1 c-9	39,3	39,3	39,1	39,2	39,2	37,4	37,4	37,4	37,4
C18:1 c-11	3,7	3,5	3,6	3,6	3,5	3,6	3,4	3,2	3,3
C20:1 C-11	4,1	4,8	4,5	4,8	4,5	4,5	4,2	4,9	4,7
C22:1 c-11	2,4	2,4	2,4	2,3	2,4	3,6	3,6	3,6	3,6
Σ MUFA	55,4	55,7	55,3	55,8	55,4	55,2	54,9	55,4	55,4
C18:3 n-3 ALA	4,8	4,3	4,7	4,3	4,6	5,3	5,5	4,9	5,0
C18:4 n-3	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
C20:3 n-3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5
C20:4 n-3	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
C20:5 n-3 EPA	2,6	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9
C22:5 n-3 DPA	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1
C22:6 n-3 DHA	4,0	3,9	4,0	3,9	4,0	4,1	4,1	4,1	4,1
Σ n-3	14,7	14,6	15,0	14,5	15,0	15,9	16,2	15,6	15,6
C18:2 n-6 LA	12,4	12,8	12,8	12,7	12,6	12,0	12,0	12,0	12,1
C20:2 n-6	1,1	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
C20:4 n-6 AA	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Σ n-6	14,5	14,8	14,8	14,7	14,7	13,9	13,9	13,9	14,0

Hydrolyysiolosuhteet: 50 °C, E/S=0,05 %. Kokonaisrasva määritetty kloloformi/metanoli-utolla (Folch et al. 1957).

#### 4.2.5. Yhteenveto

Koska käytetyt prosessiolosuhteet eivät vaikuttaneet kalaöljyn rasvahappokoostumukseen, niin periaatteessa kaikki testatut entsyymit soveltuvat kalaöljyn tuottamiseen, koska niillä saadaan vähintään 75 % öljysaanto 60 minuutissa alhaisella entsyymikonsentraatiolla (0,05 %) käyttäen matalia lämpötiloja (50–55 °C). Näissä prosessiolosuhteissa tuotettu kalaöljy on myös korkealaatuista (alhaiset PL- ja AL-arvot) entsyymin inaktivoinnista huolimatta. Koska inaktivointi alentaa eristetyn öljyn laatua hieinan, niin kalaöljyn laadun optimoinniksi öljy kannattaisi eristää hydrolysaatista ennen entsyymin inaktivointia.

### 4.3. Pilottikokeita

Taulukossa 9 on esitetty eräiden lohen ja kirjolohen prosessoinnin yhteydessä syntyvien sivutuotteiden (pää, selkälieve ja vatsalieve) peruskoostumuksia verrattuna lopputuotteen eli fileen koostumukseen. Erityisesti sekä vatsa- että selkäliepeet ovat erinomaisia raaka-aineita kalaöljyn tuottamiseen, koska niiden öljypitoisuus on noin 3–5 kertainen fileeseen verrattuna. Myös päät sisältävät noin 1,5 kertaa enemmän öljyä kuin fileet. Tässä tutkimuksessa pilottiprosessikokeiden raaka-aineina käytettiin sekä lohen (772) että kirjolohen (784 ja 790) vatsaliepeitä.

**Taulukko 9.** Lohen ja kirjolohen prosessoinnissa syntyvien sivutuotteiden peruskoostumuksia.

	Rasva (%)	Proteiini (%)	Tuhka (%)	Kosteus (%)	Hiilihydraatti*
<b>Lohi</b>					
vatsaliepeet (772)	45,7	9,5	1,4	41,2	2,2
päät (422)	20,3	13,7	3,6	62,3	0,0
filee (Fineli)	13,5	18,7			
<b>Kirjolohi</b>					
vatsaliepeet (784,790)**	46,8	10,3	1,2	41,3	1,8
selkäliepeet (774)	37,0	14,1	1,4	49,0	0,0
filee (Fineli)	9,6	16,8			

\*HH= Hiilihydraatti, laskennallinen (=100 % – kosteus% – tuhka% – rasva% – proteiini%), \*\*keskiarvo

#### 4.3.1. Kokeet reaktorisäiliöllä

Tässä hankkeessa kalaöljyn tuottoa pilotoitiin Meatco:n siirrettävällä hydrolyysireaktorilla (Hydrolyzing Test Unit [HTU-1], Meatco BV, Hollanti) käyttämällä raaka-aineena sekä lohen että kirjolohen vatsaliepeitä (kuva 7). Öljyä eristettiin sekä kokonaisista (lohi-772 ja kirjolohi-790) että jauhetuista (kirjolohi-784) vatsaliepeistä.

Kokonaiset vatsaliepeet (20 kg) ja vesi (6,6 kg) siirrettiin reaktorisäiliöön ja seos kuumennettiin haluttuun hydrolyysilämpötilaan sekoittaen sitä samalla reaktorin omilla sekoittimilla (kuvat 8 ja 9). Hydrolyysi käynnistettiin lisäämällä entsyymit (Endocut-03L, E/S=0,1 % ja Exocut BL, E/S=0,02 %) ja vatsaliepeitä hydrolysoitiin 30 min jatkaen samalla sekoitusta. Reaktorisäiliön etuna on se, että kala-raaka-ainetta ei välttämättä tarvitse jauhaa ennen hydrolyysiä, koska laitteen sekoittimien piikit (kuva 9) hajottavat raaka-ainetta mekaanisesti hydrolyysin aikana. Hydrolyysi pysäytettiin kuumentamalla seosta (85 °C, 15 min), jonka jälkeen lämmitys ja sekoitus lopetettiin ja hydrolysoidun kalamassan annettiin erottua kolmeen eri fraktioon: öljy, vesi ja sakka (kuva 10). Ensimmäisessä kokeessa (lohi-772) vesi- ja öljyosat otettiin talteen reaktorin alaventtiin kautta (kuva 11), mutta, koska reaktorin pohjalla oleva sakka vaikeutti tätä prosessia tukkimalla venttiiliä, otettiin öljy jatkossa talteen yläkautta kauhalla. Hydrolysoinnin jälkeen talteenotettu raakaöljyfraktio puhdistettiin edelleen poistamalla siitä vesi- ja kiintoainejäämät separaattorilla (kuva 12). Lisäksi kauhalla talteenotetut raakaöljyfraktiot esipuhdistettiin ennen separaattoria suodattamalla ne käyttäen juustoliinaa.



**Kuva 7.** HTU-1 reaktorisäiliö.



**Kuva 8.** Kuumennettu vatsalieve + vesi -seos (kokonaiset vatsaliepeet).



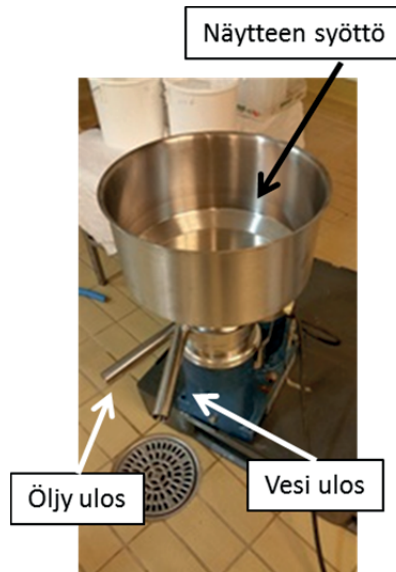
**Kuva 9.** Reaktorisäiliön sekoittimet.



**Kuva 10.** Hydrolysoitu vatsalieveseos, jossa öljy erottunut pinnalle.



**Kuva 11.** Vesi- ja öljyfaasin talteenotto reaktorisäiliön alaventtiin kautta



**Kuva 12.** Separaattori ja kalaöljyä ennen ja jälkeen separoinnin.



Pilottikokeissa selvitettiin myös raaka-aineen jauhamisen vaikutusta öljyn erottumiseen. Kirjolohen vatsaliepeet jauhettiin homogeeniseksi massaksi pilottitason lihamyllyllä (kuvat 12 ja 13). Jauhettu kalamassa (28,8 kg) hydrolysoitiin, kuten edellä on kuvattu paitsi, ettei seokseen lisätty vettä.



**Kuva 13.** Pilottilihamylly



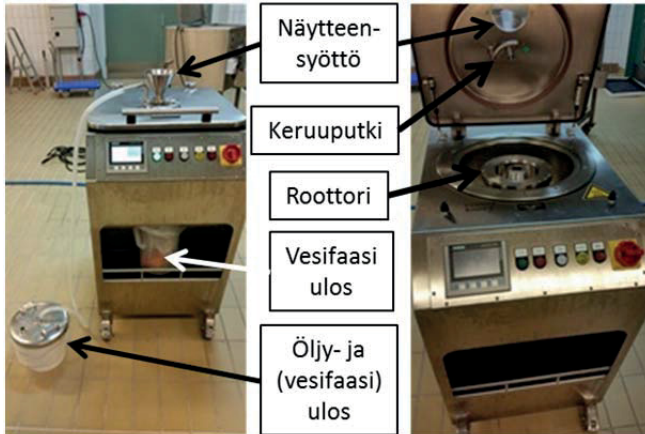
**Kuva 14.** Kirjolohen vatsaliepeet ennen ja jälkeen jauhamisen.

#### 4.3.2. Pilottisentrifugikoe

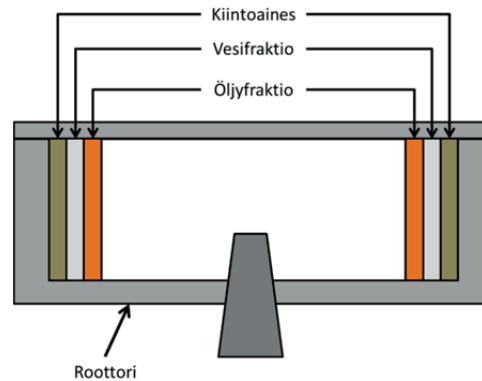
Reaktorisäiliön lisäksi yhdessä kokeessa testattiin myös pilottitason sentrifugin (Centriflex, Siebtechnik, Saksa) käyttöä kalaöljyn fraktioimisessa. Kirjolohen vatsaliepeiden entsyymattinen hydrolyysi tehtiin laboratoriomittakaavassa, kuten kohdassa 4.2.1 on kuvattu. Hydrolyysi aloitettiin lisäämällä entsyymit (Endocut-03L ja Exocut BL), jonka jälkeen vatsaliepeitä hydrolysoitiin 30 min jatkaen samalla sekoitusta. Hydrolyysi pysäytettiin kuumentamalla (85 °C) seosta 15 min.



Hydrolysoitu vatsalievemassa syötettiin näytteensyöttökartion avulla pyörivään roottoriin (6 000 × g), missä näyte jakautui roottorin seinämälle kolmeen eri kerrokseen faasien ominaispainon mukaan (kuvat 15 ja 16). Öljyfaasi kerättiin pyörivästä roottorista keruuputken avulla kääntämällä putkea kohti roottorin seinämää, jolloin öljy siirtyi putken ja letkun kautta keruuastiaan 1(ylä). Kun letkussa näkyi vesifaasia, lopetettiin keruuputken kääntäminen sekä linkous. Roottorin pysähdyttyä vesifaasi valui roottorikammista alakautta keruuastiaan 2(ala). Kiintoaines (sakka) pakkautui keskipakovoiman ansiosta roottorin seinämälle, josta se voidaan ottaa talteen esim. muovilastan avulla (kuva 17). Lopuksi öljyfaasi puhdistettiin separaattorilla, kuten edellä on kuvattu.



Kuva 15. Pilottitason sentrifugi.



Kuva 16. Havainnekuva eri faasien kerrostumisesta roottorin seinämälle.



Kuva 17. Sentrifugoimalla eristetyt fraktiot vasemmalta oikealle: sakka, vesi- ja öljyfraktio.

### 4.3.3. Pilottikokeiden tuloksia

**Taulukko 10.** Pilottiprosesseissa muodostuneiden fraktioiden painot ja prosenttiosuudet sekä eri pilottikokeiden öljysaannot.

	Reaktorisäiliö						Pilottisentrifugi	
	Lohi (772) kokonainen		Kirjolohi (790) kokonainen		Kirjolohi (784) jauhettu		Kirjolohi (790) jauhettu	
	paino (g)	osuus (%)	paino (g)	osuus (%)	paino (g)	osuus (%)	paino (g)	osuus (%)
<b>Lähtö</b>	26 600		26 600		28 800		2 330	
<b>Öljy (separoitu)</b>	8 800	33	7 600	29	9 800	34	850–900 <sup>2</sup>	36–39
<b>Vesifraktio</b>	11 300	42	11 500	43	12 500	43	790	34
<b>Sakka + hävikki</b>	6 500 <sup>1</sup>	25	7 500	28	6 500	23	590–640 <sup>3</sup>	27–30
<b>Öljysaanto (%)</b>	86		75		79		75	

1 = sakka 4400 g + hävikki 2100 g, 2 = arvio (raakaöljyn määrä 950 g), 3 = sakka 130 g + ruodot 80 g + hävikki 430–480 g

Reaktorisäiliöllä tehtiin kolme ja pilottisentrifugilla yksi pilotointikoe. Taulukkoon 10 on koottu näiden kokeiden tuloksia prosesseissa muodostuvien fraktioiden osalta. Vastaavasti taulukossa 11 on esitetty sekä pilottikokeissa käytettyjen raaka-aineiden että vesifraktion ja sakan peruskoostumuksia. Valitettavasti molempien taulukoiden tulokset ovat pääosin suuntaa-antavia. Esimerkiksi peruskoostumusanalyysien näytteet olivat epähomogeenisiä vähentäen siten tulosten tarkkuutta. Useimmissa näytteissä oli muun muassa havaittavissa erillinen vesi- ja rasvafaasi, joka todennäköisesti vaikutti tehtyihin analyyseihin.

**Taulukko 11.** Raaka-aineiden (vatsaliepeiden) sekä pilottikokeissa muodostuneiden vesifraktion ja sakan peruskoostumukset.

	Rasva (%)	Proteiini (%)	Tuhka (%)	Kosteus (%)	HH <sup>1)</sup> (%)
<b>Lohi (772) reaktorisäiliö<sup>2)</sup></b>					
<b>vatsaliepeet</b>	45,7 ± 6,4	9,5 ± 0,7	1,4 ± 0,2	41,2 ± 2,9	2,2
<b>vesifraktio</b>	1,4 ± 0,2	8,2 ± 0,6	0,5 ± 0,1	90,6 ± 6,3	0,0
<b>sakka</b>	26,6 ± 3,7	13,8 ± 1,0	1,3 ± 0,2	59,0 ± 4,1	0,0
<b>Kirjolohi (784) reaktorisäiliö<sup>3)</sup></b>					
<b>vatsaliepeet</b>	44,2 ± 6,2	9,3 ± 0,7	1,0 ± 0,1	48,0 ± 3,4	0,0
<b>vesifraktio</b>	1,5 ± 0,2	13,7 ± 1,0	0,7 ± 0,1	85,1 ± 6,0	0,0
<b>sakka</b>	9,2 ± 1,3	20,2 ± 1,4	7,2 ± 0,9	63,8 ± 4,5	0,0
<b>Kirjolohi (790) pilottisentrifugi<sup>3)</sup></b>					
<b>vatsaliepeet</b>	49,3 ± 6,9	11,3 ± 0,8	1,3 ± 0,2	34,6 ± 2,4	3,5
<b>vesifraktio 1(ylä)</b>	29,7 ± 4,2	16,6 ± 1,2	0,7 ± 0,1	62,0 ± 4,3	0,0
<b>vesifraktio 2(ala)</b>	6,7 ± 0,9	18,8 ± 1,2	1,0 ± 0,1	75,4 ± 5,3	0,0
<b>sakka</b>	3,8 ± 0,5	30,6 ± 2,1	3,8 ± 0,5	62,9 ± 4,3	0,0

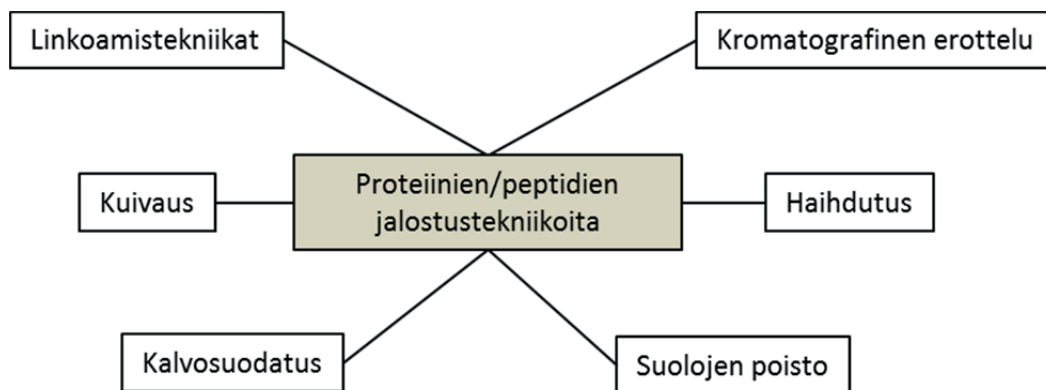
<sup>1)</sup>HH= Hiilihydraatti, laskennallinen (= 100 % – kosteus% – tuhka% – rasva% – proteiini%), <sup>2)</sup> kokonainen vatsalieve, <sup>3)</sup> jauhettu vatsalieve.

Reaktorisäiliökokeissa lopputuotteena saadun (separoidun) kalaöljyn saanto vaihteli 75–86 % välillä eli oli keskimäärin 80 % (taulukko 10). Vastaavasti pilottisentrifugilla saanto oli 75 %. Käytännössä, jos raaka-aine sisältää rasvaa 45–50 % (taulukko 11), esimerkiksi 1000 kg:sta vatsaliepeitä saa-

daan noin 360–400 kg puhdistettua öljyä. Todennäköisesti saantoa on vielä mahdollista parantaa erotusmenetelmän paremmalla optimoinnilla.

Kalaöljyä valmistettaessa syntyy myös sekä vesifraktio että kiintoainesfraktio (= sakka). Molemmat fraktiot pitäisi pystyä hyödyntämään kaupallisesti, jotta kalaöljyn valmistamisen olisi kustannustehokasta. Periaatteessa nämä fraktiot ovat potentiaalisia lisäarvotuotteita, koska entsyymattisen hydrolyysin seurauksena ne sisältävät muun muassa peptidejä ja aminohappoja. Fraktioita onkin mahdollista hyödyntää rehuna tai lannoitteena. Lisäksi joidenkin kalapeptidien on raportoitu olevan bioaktiivisia eli niillä voi olla esimerkiksi antioksidatiivisia tai antimikrobisia ominaisuuksia (Kim & Wijesekara 2010, Cheung ym. 2015). Kiinnostus hyödyntää kaloja ja niiden sivutuotteita bioaktiivisten peptidien lähteenä onkin kasvanut nopeasti viime vuosina, koska niillä arvioidaan olevan korkea kaupallinen potentiaali muun muassa erilaisiin ravintolisä- ja lääkesovelluksiin.

Öljyn erotuksen jälkeen bioaktiivisia peptidejä voidaan eristää vesiliukoisesta fraktiosta kuvassa 18 esitetyillä proteiinien/peptidien jalostustekniikoilla riippuen niiden lopullisesta käyttötarkoituksesta (Thorkelson & Kristinsson 2009, Vielma ym. 2013). Esimerkiksi kalvosuodatuksen avulla bioaktiiviset peptidit voidaan erotella ja konsentroida koon (eli molekyylipainon) mukaan erilaisiin fraktioihin.



**Kuva 18.** Proteiinien ja peptidien jalostustekniikoita (Vielma ym. 2013).

Taulukossa 12 on verrattu kahta tässä hankkeessa tuotettua kalaöljyä (lohi- ja kirjolohiöljy) kaupalliseen rehuikäyttöön tarkoitettuun silakkaöljyyn. Öljyjen välisissä rasvahappokoostumuksissa näkyy selvä ero EPAn ja DHAn pitoisuuksissa kasvatetun (lohi ja kirjolohi) ja villin (silakka) kalan välillä. Kuten edellä on jo mainittu (kohta 4.2.4) kalarehujen koostumusta on muutettu siten, että kalaöljyn EPA- ja DHA-pitoisuudet ovat alentuneet. Nämä rehumuutokset eivät luonnollisesti koske viljeltyjä kaloja koska ne hankkivat ravintonsa luonnollisesti, olivat niiden rasvan EPA/DHA-pitoisuudet noin kolminkertaiset kasvatetun kalan pitoisuuksiin verrattuna. Todennäköisesti samasta syystä myös silakkaöljyn vitamiinipitoisuudet olivat korkeammat kuin lohi/kirjolohiöljyissä. Kaikissa öljyissä raskasmetallipitoisuudet olivat alle EU:n asettamien raja-arvojen. Silakkaöljyn anisidiiniluku oli selvästi korkeampi kuin tässä hankkeessa eritetyissä kalaöljyissä, mikä johtunee silakkaöljyn valmistusprosessissa käytetyistä korkeammista lämpötiloista. Hankkeessa tuotetut kalaöljyt olivatkin tuorelaadultaan erinomaisia. Valitettavasti ne alkoivat kuitenkin pilaantua melko nopeasti (2 kuukaudessa), vaikka niitä säilytettiin kylmäkaapissa 0–10 °C (taulukko 13). Tällöin peroksidiluvut olivat joko yli (lohiöljy) tai lähellä (kirjolohiöljy) hyvälaatuiselle lohiöljylle asetettua raja-arvoa (5 mekvO<sub>2</sub>/ kg). Tämä ei ole raaka-aineesta johtuva ongelma, vaan liittyyne säilytysolosuhteisiin, muun muassa pakkausmateriaaleihin.



#### 4.3.4. Yhteenveto

Lohen ja kirjolohen vatsalieveet sisältävät runsaasti (45–50 %) rasvaa soveltuen siten erittäin hyvin kalaöljyn raaka-aineeksi. Tehdyissä pilotointikokeissa öljyn saanto oli 75–80 %. Saantoa on mahdollista parantaa menetelmien optimoinnilla. Tuore kalaöljy oli laadultaan erinomaista täyttäen ihmiskäyttöön tarkoitetun korkealaatuisen kalaöljyn kriteerit. Myös öljynerotusprosessin sivutuotteena syntyvät vesifaasi ja sakka ovat potentiaalisia lisäarvotuotteita.

**Taulukko 12.** Hankkeessa tuotetut lohi- ja kirjolohiöljy vs kaupallinen silakkaöljy.

Rasvahappo %	Vatsalieve		Koko kala
	Lohi (772)	Kirjolohi (784)	Silakka
C14:0	1,9	1,9	4,3
C16:0	9,4	9,6	18,1
C18:0	2,1	2,1	1,8
Summa SFA	13,9	14,2	26,1
C16:1	3,3	3,2	7,5
C18:1 c-9	39,5	39,8	21,8
C18:1 c-11	3,7	3,6	
C20:1 c-11	4,0	4,1	<0,1
C22:1 c-11	1,7	1,7	0,7
Summa MUFA	52,4	52,6	33,0
C18:3 n-3 ALA	3,9	3,8	3,1
C18:4 n-3	0,7	0,7	2,9
C20:3 n-3	0,4	0,4	0,7
C20:4 n-3	0,7	0,7	0,9
C20:5 n-3 EPA	2,1	2,1	7,9
C22:5 n-3 DPA	1,1	1,1	0,8
C22:6 n-3 DHA	4,4	4,4	12,9
Summa n-3	13,5	13,2	29,4
Summa EPA+DHA	6,5	6,5	20,8
C18:2 n-6 LA	14,4	14,3	4,4
C20:2 n-6	1,0	0,9	1,1
C20:4 n-6 AA	0,3	0,3	0,5
Summa n-6	16,0	15,9	6,2
<b>Öljyn laatu</b>			
PL (mekvO <sub>2</sub> /kg)	0,0	0,0	1,1
AL	1,1	1,0	16,1
TOTOX (2PL + AL)	1,1	1,0	18,3
vapaat rasvahapot (%)	0,1	0,1	3,0
<b>Vitamiinit</b>			
β-karoteeni µg/100g			35,9
D3-vitamiini µg/100g	28,8	27,8	176
E-vitamiini mg/100g	12,1	12,2	21,2
Astaksantiini µg/100g	401	449	
<b>Raskasmetallit</b>			
Elohopea mg/kg	<0,005	<0,005	<0,005
Kadmium mg/kg	<0,01	<0,01	<0,01
Lyijy mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05

SFA=tydyttyntynyt rasvahappo, MUFA=kertatydyttymättömän rasvahappo ALA=alfalinoleenihappo, LA=linolihappo, AA=arakidonihappo, DPA=dokosapentaenihappo

**Taulukko 13.** Varastoinnin vaikutus lohen ja kirjolohen vatsaliepeistä eristetyn öljyn laatuun.

	PL (mekvO <sub>2</sub> /kg)	AL	TOTOX
<b>Lohen (772) vatsaliepeet (kokonainen)</b>			
0	0,0	1,1	1,1
2 kk	5,7	2,3	13,7
<b>Kirjolohen (784) vatsaliepeet (jauhetu)</b>			
0	0,0	1,0	1,0
2 kk	4,4	1,4	10,2

Vesifaasin ja sakan koostumukset, erityisesti aminohappojen ja rasvahappojen suhteen, olisi hyvä analysoida tarkemmin. Näin voidaan paremmin arvioida näiden fraktioiden soveltuvuutta esimerkiksi rehukäyttöön.

Vaikka pelkkään kuumennuskäsittelyyn perustuvalla öljyn eristysmenetelmällä on mahdollista tuottaa korkealaatuista kalaöljyä ihmiskäyttöön, niin entsyymaattiseen hydrolyysiin perustuva menetelmällä on enemmän kaupallista potentiaalia, koska sen avulla on mahdollista tuottaa bioaktiivisia peptidejä. Mahdollisissa jatkohankkeissa tulisi pyrkiä optimoimaan eristysmenetelmiä paremman öljysaannon lisäksi myös vesifaasin/sakan sisältämien bioaktiivisten ominaisuuksien suhteen. Öljysaantoa on mahdollista kasvattaa myös ottamalla talteen myös vesifaasin sisältämä öljy esimerkiksi keraamisten kalvosuodattimien avulla.

## 5. Elintarvikekäyttöön tarkoitettun kalaöljyn hygieniavaatimukset

Tässä raportissa selvitetään kalanjalostusteollisuudessa syntyvien elintarvikekelpoisten sivutuotteiden sisältämän kalaöljyn käyttömahdollisuuksia. Seuraavassa käsitellään lyhyesti elintarvikekelpoisen kalaöljyn valmistamiseen liittyvää lainsäädäntöä Euroopan unionin alueella. Lisäksi tarkastellaan kalaöljyn valmistamiseen liittyviä biologisia riskejä ja verrataan tässä tutkimuksessa testattujen erilaisten kalaöljyn eristysmenetelmien biologisia riskejä perinteisen kalaöljyn valmistusmenetelmän riskeihin. Kalaöljyn yksi käyttömahdollisuus olisi käyttö ravintolisänä. Eviran (2016) ohjeessa 17012/5 Ravintolisäopas elintarvikevalvojille ja elintarvikealan toimijoille on koottu ravintolisään liittyvää lainsäädäntöä.

### 5.1. EU:n hygieniasäädökset koskien elintarvikekäyttöön tarkoitettua kalaöljyä

Elintarvikekäyttöön tarkoitettua kalaöljyä koskevat samat elintarvikehygieniasäädökset kuin muitakin elintarvikkeita. Näitä ovat EU:n yleinen elintarvikeasetus (EY) N:o 178/2002 sekä elintarviketurvallisuutta varmistavat elintarvikehygieniaa koskevat säädökset, joita ovat muun muassa:

- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus elintarvikehygieniasta (EY) N:o 852/2004 (Yleinen elintarvikehygienia-asetus)
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus eläinperäisiä elintarvikkeita koskevista erityisistä hygieniasäännöistä (EY) N:o 853/2004 (Eläimistä saatavien elintarvikkeiden hygienia-asetus)
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 854/2004 ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläinperäisten tuotteiden virallisen valvonnan järjestämisestä koskevista erityissäännöistä (Eläimistä saatavien elintarvikkeiden valvonta-asetus)
- Komission asetus (EY) N:o 1020/2008 eläinperäisiä elintarvikkeita koskevista erityisistä hygieniasäännöistä annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 853/2004 liitteiden II ja III ja asetuksen (EY) N:o 2076/2005 muuttamisesta tunnistusmerkinnän, raakamaidon ja meijerituotteiden, munien ja munatuotteiden sekä tiettyjen kalastustuotteiden osalta
- Komission asetus (EY) N:o 1022/2008 asetuksen (EY) N:o 2074/2005 muuttamisesta emäksisen haihtuvan kokonaistypen (TVB-N) rajaarvojen osalta (NSF 2010).

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetusta (EY) N:o 852/2004 sovelletaan kaikkiin elintarvikkeiden tuotanto-, jalostus- ja jakeluvaiheisiin sekä vientiin. Siinä säädetään elintarvikkeiden yleiset hygieniasäännöt elintarvikealan toimijoille. Sen mukaan elintarvikealan toimijalla on ensisijainen vastuu elintarvikkeiden turvallisuudesta ja elintarvikkeiden turvallisuus on varmistettava koko elintarvikeketjussa alkutuotannosta lähtien. Se sisältää elintarvikehygieniaa koskevat yleiset vaatimukset sekä henkilöstön (koulutus ja henkilökohtainen hygienia) että prosessin (laitteistot ja välineet) osalta. Lisäksi se sisältää vaatimukset HACCP (vaarojen analysointi ja kriittiset valvontapisteet) -periaatteisiin perustuvasta menettelytavasta. (EFSA 2010.)

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksessa (EY) N:o 853/2004 säädetään elintarvikealan toimijoita varten eläinperäisiä elintarvikkeita koskevista erityisistä hygieniasäännöistä. Ne täydentävät asetuksen (EY) N:o 852/2004 sääntöjä ja niitä sovelletaan jalostamattomiin ja jalostettuihin eläinperäisiin tuotteisiin, kuten lihaan, maitoon, kananmuniin ja kalaan sekä myös kalaöljyyn. Asetuksessa on asetettu tiukat säädökset koskien tuotantoa, varastointia ja kuljetusta. Lisäksi elintarvikealan laitos täytyy auditoida, jotta todistetaan, että asetetut vaatimukset täytetään. (EFSA 2010.)

Asetuksen (EY) N:o 853/2004 liitteissä III (Komission asetus (EY) N:o 1020/2008) on vahvistettu ihmisravinnoksi tarkoitettujen kalastustuotteiden, kalaöljy mukaan lukien, tuotantoa ja markkinoille saattamista koskevat vaatimukset. Sen mukaan ihmisravinnoksi tarkoitettun kalaöljyn valmistukseen käytettyjen raaka-aineiden on täytettävä seuraavat vaatimukset:

- a) ne tulevat laitoksesta, mukaan lukien aluksista, jotka on rekisteröity tai hyväksytty asetuksen mukaisesti,
- b) ne on saatu kalastustuotteista, jotka ovat ihmisravinnoksi sopivia ja säännösten mukaisia,
- c) ne kuljetetaan ja varastoidaan hygieenisissä olosuhteissa,
- d) ne jäähdytetään mahdollisimman nopeasti ja pidetään sallituissa lämpötiloissa.

Säännösten mukaan raaka-aine täytyy jäähdyttää mahdollisimman nopeasti pyydystämisen jälkeen. Mikäli raaka-aineen jäähdyttäminen ei ole mahdollista kalastusaluksessa, se täytyy tehdä välittömästi maihin nousun jälkeen. Raaka-aine säilytetään lähellä sulavan jään lämpötilaa. Poikkeuksena kuitenkin sallitaan, että elintarvikealan toimijat voivat olla jäähdyttämättä kalastustuotteita, kun kokonaisia kalastustuotteita käytetään suoraan ihmisravinnoksi tarkoitettun kalaöljyn valmistukseen ja kun raaka-aineet prosessoidaan 36 tunnin kuluessa lastauksesta. Lisäksi edellytetään, että tuoreusvaatimukset täyttyvät ja että jalostamattomien kalastustuotteiden emäksisen haihtuvan kokonaistypen (TVB-N) arvo eivät ylitä sallittua raja-arvoa (EY) N:o 1020/2008) 60 mg typpeä/100 g kokonaista kalastustuotetta (Komission asetus (EY) N:o 1022/2008).

Asetuksessa (EY) N:o 1020/2008 on myös kalaöljyn tuotantoprosessia ja varastointia koskevia vaatimuksia. Tuotantoprosessin osalta on varmistettava, ”että kaikki jalostamattoman kalaöljyn valmistukseen tarkoitettut raaka-aineet ovat ennen kuluttajan markkinoille saattamista käyneet läpi seuraavat käsittelyvaiheet, kun se on asianmukaista: kuumentaminen, puristaminen, erottaminen, sentrifugointi, prosessointi, jalostus ja puhdistus.” Elintarvike-alan toimija voi tuottaa ja varastoida samassa laitoksessa ihmisravinnoksi tarkoitettua kalaöljyä ja kalaöljyä ja kalajauhoa, jota ei ole tarkoitettu ihmisravinnoksi sillä edellytyksellä, että raaka-aineet ja tuotanto-prosessit ovat ihmisravinnoksi tarkoitettuun kalaöljyyn sovellettavien vaatimusten mukaisia.

## 5.2. Raaka-aineiden biologiset vaarat

Kaloissa voi esiintyä monenlaisia ihmisten terveyteen haitallisesti vaikuttavia biologisia vaaratekijöitä, kuten patogeenisiä organismeja ja toksiineja, jotka voivat aiheuttaa sairauksia kalansyönnin seurauksena tai muuta reittiä (EFSA 2010). Kalan nahassa, kiduksissa ja suolistossa esiintyy luontaisesti elinalueensa erilaisia mikrobeja. Lisäksi voi esiintyä ulosteperäisiä mikrobeita erityisesti rannikko-alueilla ja kala voi kontaminoitua pyydystämisen jälkeen tai prosessoinnissa (Novoslavskij ym. 2016).

Patogeenisiä organismeja ovat loiset (muun muassa *Anisakis* spp.), virukset (muun muassa hepatiitti A, kalikivirus), bakteerit *Clostridium botulinum*, *Vibrio cholerae*, *Vibrio vulnificus*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Aeromonas hydrophila* ja *Listeria monocytogenes*. Kaloissa luontaisesti olevien edellä mainittujen bakteerien lisäksi niissä voi esiintyä Enterobacteriaceae -heimon lajeja, kuten *Salmonella* spp., *Shigella* spp. ja *Escherichia coli*. Lisäksi kaloissa voi olla lämmönkestäviä vesiliukoisia biotoksiineja, kasviplanktonin tuottamia toksiineja sekä biogeenisiä amiineja. (EFSA 2010.)

Osa kaloissa esiintyvistä mikrobeista aiheuttaa raaka-aineen pilaantumisen. Jääkaappilämpötilassa varastoitua kalamateriaalia pilaavat tyypillisesti aerobiset psyktrotrofiset bakteerit, kuten *Pseudomonadaceae*- ja *Moraxellaceae*-heimoihin kuuluvat (*Pseudomonas* spp., *Psychrobacter* spp., *Moraxella* spp., *Acinetobacter* spp.) ja fakultatiivisesti anaerobit, kuten *Enterobacteriaceae*-heimoon kuuluvat bakteerit (*Shewanella* spp.). Huoneenlämmössä säilytettynä voi myös esiintyä *Enterobacteriaceae* – ja *Vibrionaceae*-heimoihin kuuluvia bakteereita. CO<sub>2</sub>-rikkaassa ympäristössä esiintyy pääosin maitohappobakteereita sekä joitakin *Vibrionaceae*-heimoon kuuluvia lajeja (*Photobacterium phosphoreum*). (EFSA 2010.)

### 5.3. Biologiset vaarat kalaöljyn valmistusprosessissa

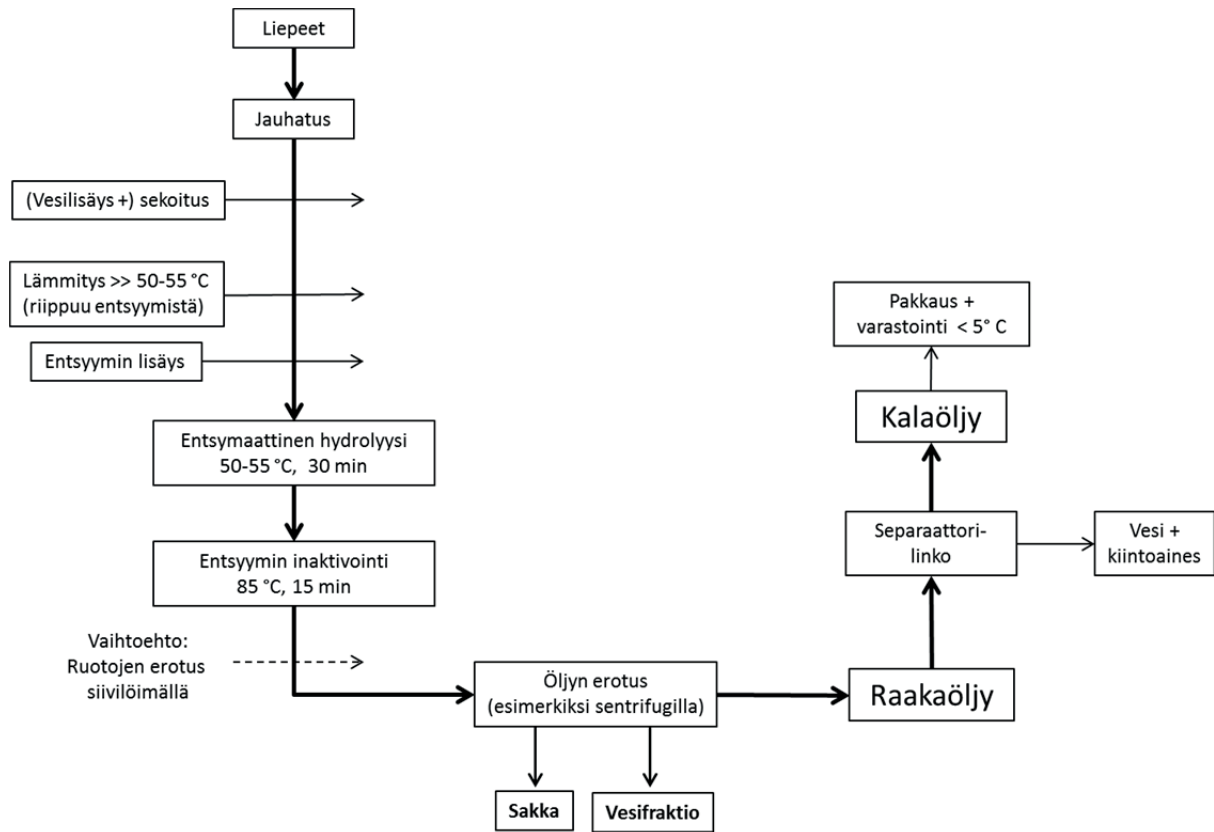
Perinteisen kalaöljyn valmistusprosessin biologisten vaarojen riski on vähäinen kuumennus- ja emäs-happokäsittelyjen sekä veden poiston vuoksi (EFSA 2010). Toistuvat kuumennusvaiheet yhdistettynä vahvaan emäs/happokäsittelyyn inaktivoivat raaka-aineessa mahdollisesti alun perin olleet kaikki loiset, bakteerit, virukset sekä lämpökestoiset toksiinit (EFSA 2010, NSF 2010).

Raakaöljyvaiheessa raaka-aineet (kokonainen kala ja sivutuotteet) ensin höyrykuumennetaan 90–95 °C:een noin 10–20 minuuttia ja tavallisesti kuumennetaan uudelleen 90–95 °C:een dekantterivaiheessa. Puhdistusvaiheessa öljy kuumennetaan toistuvasti 180 °C:een (hajunpoisto deodorisati-on), noin 80–85 °C:een (emäs-/happoliuos-käsittely) sekä 100–110 °C:een (vakuumikuivaus).

Kalاراaka-aineessa mahdollisesti olevat lämpökestoiset toksiinit (muun muassa mikrobioeräiset mukaan lukien histamiini) tai allergeenit ovat vesiliukoisia ja siten erottuvat öljyn valmistuksessa vesifaasiin. Raakaöljyn valmistusvaiheessa öljystä erottuva vesi poistetaan, kuten se poistetaan uu-destaan puhdistusvaiheessa, kun öljy käsitellään happo-emäsluoksella. Lisäksi kuivausvaiheen jäl-keen lopputuotteen kosteuspitoisuus on erittäin alhainen (0,1–0,3 %). Ennen siiloon varastointia kalaöljy jäähdytetään huoneenlämpöön. Siilovarastoinnin aikana mikrobit voisivat kasvaa, mikäli vet-tä on saatavilla esimerkiksi kondensaation vuoksi (NSF 2010). Yhteenvetona voidaan todeta, että varastosiilossa kalaöljyn biologinen elintarviketurvallisuusriski on häviävän pieni (EFSA 2010, NSF 2010). Mahdollista mikrobiologista ristisaastumista siilovarastoinnin jälkeisessä pakkaus-varastointi-jakeluketjussa ei voida kuitenkaan kokonaan jättää huomiotta (EFSA 2010).

Korkealaatuista, ihmisravinnoksi tarkoitettua, öljyä valmistetaan teollisesti pääasiassa kolmella eri menetelmällä (Rustad ym. 2011): öljy erotetaan kalamassasta lämpötilan avulla (lämpötilat huo-mattavasti alempia kuin perinteisessä menetelmässä), kalاراaka-aines hydrolysoidaan kaupallisten proteolyttisten entsyymien ja kalan omien (endogeenisten) entsyymien avulla tai kahden edellisen menetelmän yhdistelmällä. Esimerkiksi Alaska Salmon Oil valmistaa kalaöljyn kuumentamalla noin 88 °C:seen/5 min, jonka jälkeen öljy jäähdytetään nopeasti huoneenlämpöön eikä sitä raffinoida (<http://www.grizzlypetproducts.com/salmon-oil-faqs/>). Biocare Salmon oil on tehty norjalaisen lohen fileointijäännöksistä entsyymaattisella menetelmällä (<http://www.nutraingredients-usa.com/Suppliers2/Freshness-gentle-processing-compensate-for-different-EPA-DHA-levels-salmon-oil-supplier-asserts>) eikä öljyä ilmeisesti raffinoida (<http://biocare.fi/verkkokauppa/omega-3-lohioljy-100/>). Näyttää siis siltä, että markkinoilla olevat elintarvikekäyttöön tarkoitettut kalaöljyt eivät käy lävitse monia (jos ollenkaan) raffinoitiprosesseja. Edellä mainituilla valmistusmenetmillä tuotetut kalaöljyt ovat ilmeisimmin turvallisia (eivät sisällä ihmiselle biologisia vaaroja), sillä ne on tuotettu elintarvikekelpoisista raaka-aineista.

Tässä työssä kalاراaka-aineena käytettiin fileoinnin yhteydessä syntyvää sivutuotevirtaa: Norjan lohen (*S. salar*) vatsaliepeitä tai päitä sekä kotimaisen kirjolohen (*O. mykiss*) vatsaliepeitä. Kalaöljyn raaka-aineet olivat elintarvikekelpoisia. Valmistusprosessi (kuva 19) vastaa Alaska Salmon Oilin kala-öljyn valmistusmenetelmää, jossa kalaöljy kuumentamalla noin 88 °C:seen 5 minuutiksi, minkä jäl-keen öljy jäähdytetään nopeasti huoneenlämpöön (<http://www.grizzlypetproducts.com/salmon-oil-faqs/>). Tässä työssä hydrolyysilämpötila oli 50–55 °C, ja entsyymi inaktivoitiin 85 °C:ssa 15 minuuttia. Kalaöljystä ei tehty mikrobiologisia määrittäyksiä, mutta käytetyt raaka-aineet olivat elintarvikelaatui-sia. Myös entsyymien inaktivointi 85 °C:ssa 15 minuuttia tappaa mahdolliset patogeeniset bakteerit ja tietyt toksiinit. Lisäksi prosessi toteutettiin aerobisissa olosuhteissa, joten anaerobisten bakteerien, kuten klostridien, tuottamia toksiineja ei voinut tuottua. Siten voidaan olettaa, että biologisten vaa-rojen riski lienee vähäinen.

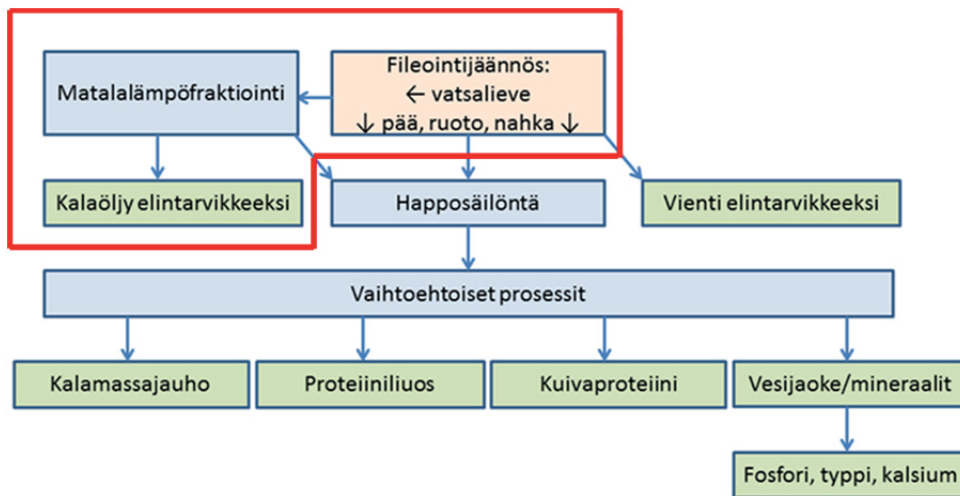


**Kuva 19.** Lyhyt kuvaus tässä hankkeessa testatusta mahdollisesta elintarvikekelpoisen kalaöljyn valmistusmenetelmästä.

## 6. Elintarvikekalaöljyn tuottamisen kannattavuus

### 6.1. Esiselvityksen perusteella elintarvikekalaöljyn tuottaminen kannattavaa

Sivuvirtojen kannattavuutta tulee arvioida kokonaistaloudellisesti. Kuvassa 20 on esitetty miten lohikalajien fileointijäännöksestä saadaan erilaisia sivutuotteita jotka voidaan ohjata edelleen erilaisiin käyttötarkoituksiin. Tässä selvityksessä keskitytään kuitenkin arvioimaan miten kannattavaa elintarvikeöljyn tuotanto on vaihtoehtoisilla menetelmillä ja lajeilla.



**Kuva 20.** Lohikalafileointijäännöksestä vatsalieveistä puristetaan kalaöljyä elintarvikekäyttöön ja loput jaokkeet voidaan hapottaa tai myydä vientiin. Tämän selvityksen kannattavuustarkastelu on rajattu punaisella.

”Vähäarvoisen kalamateriaalin jalostus lisäarvotuotteiksi” -hankkeessa arvioitiin että kasvatetun lohien vatsarasvoista kannattaa valmistaa elintarvikekelpoista kalaöljyä (Vielma ym 2013). Hankkeessa arvioitiin alustavasti että keskimäärin 3,5 € litrahinnalla oletettujen tuotesaantojen ja kustannusten jälkeen yritykselle jäisi voittoa keskimäärin noin 200 000€ (=cumulative probability 0,5) jos se eristäisi elintarvikeöljyä 90 tonnista vatsalieveistä; Prosessilaitteiston investointikustannukset oli kuitenkin laskettu 300 tonnille olettaen että myös päistä ja ruodoista tehdään öljyä. Kyseinen 90 tonnin määrä vatsalieveistä syntyy noin 2 miljoonasta peratusta lohikilosta, jos kaikki kalat fileerattaisiin ja trimmisiin. On kuitenkin huomattava että kaikkia kaloja ei tavallisesti jalosteta trimmatuksi fileeksi joten käytännössä vatsalieveitäkään ei synny vastaavaa määrää. Esiselvityksen kannattavuuslaskentaa (Kuva 21) käytetään tässä selvityksessä vertailupohjana tarkentuneille tiedoille.



**Kuva 21.** Esiselvityksen perusteella lohien vatsaliepeistä kannattaa valmistaa kalaöljyä elintarvikekäyttöön (Vielma ym 2013) (K= 1000 euroa).

## 6.2. Elintarvikekalaöljyn tuottamisen kannattavuus kirjolohen ja lohien vatsaliepeistä

Tämän hankkeen aikana on kerätty lisätietoa erityisesti lohikalajien vatsaliepeiden laadusta ja vertailtu laatuominaisuuksia ja erityisesti öljyisaantoja eri pilottimittakaavan tuotantoprosessien jälkeen. Hankkeessa arvioitiin tuotteen laatua ja prosessin tehokkuutta lämpötilaa ja prosessin kestoa muuttamalla sekä hyödyntämällä entsyymejä erotusprosessissa (Katso kappale 4.2).

Lisäksi hankkeessa arvioitiin miten kalaöljyn markkinahinta vaihtelee sen puhtauden ja muun muassa rasvahappojen, EPA ja DHA, pitoisuuden perusteella. Yllättäen alustavan markkinakatsauksen perusteella myyntihinta ei korreloinut suhteessa EPA- ja DHA-rasvahappojen määrään (Katso kappale 3.3).

Tärkein kannattavuuteen vaikuttava laatutekijä öljyn markkinahinnan lisäksi on tuotesaanto. Kunhan elintarvikelaatu pysyy hyvänä (Katso esim. TOTOX-arvo kappale 4.2.3). Seuraavassa taulukossa on esitetty alustavia arviota kalaöljyn tuotantoprosessinkustannuksista eri tuotantovoluumeilla. Kyseessä on siis ainoastaan tuotannon prosessista aiheutuvat kustannukset, jolloin kustannuksiin ei näin ole huomioitu esimerkiksi yleiskustannuksia, kiinteistöjä tai muita liiketoiminnan kustannuksia. Prosessikustannuksista merkittävin, erityisesti pienillä tuotantomäärillä, on investointikustannuksen osuus. Keskeistä kalaöljyn tuottamisen kannattavuusarvioinnissa on se kuinka korkea hintaa käytetään raaka-aineelle;

Jos raaka-ainekustannukseksi käytetään kalan ostohintaa (taulukon 14 esimerkissä 5 €/kg) kalaöljyntuotantokustannus olisi jopa 15 €/l. Vaihtoehtokustannus €/l tarkoittaa sitä hintaa joka öljystä pitäisi saada, että se olisi kannattavampaa kuin myydä vatsaliepeet sellaisenaan. Vatsaliepeitä on myyty muun muassa Itä-Eurooppaan elintarvikkeeksi, jonka perusteella on käytetty 1,5 €/kg keskihintaa. Alimmaksi taulukkoon on laskettu pelkät prosessin aiheuttamat kustannukset ilman raaka-aineen hintaa.



**Taulukko 14.** Elintarvikeöljyn tuotantokustannus (€/l) eri tuotantomäärille ja raaka-aine hinnoilla (öljysaanto 40 %).

Vatsaliepeiden määrä	300 tonnia	90 tonnia
Raaka aine hinta (5€/kg)	12,50	12,50
Vaihtoehtokustannus (1,5 €/kg)	3,75	3,75
Energia	0,10	0,10
Pakkaaminen ja säilöntä	0,40	0,40
Investoinnit	0,65	2,15
Työ	0,38	0,38
<b>Tuotantokustannus raaka-aine 5€/kg</b>	<b>14,03</b>	<b>15,53</b>
Tuotantokustannus raaka-aine 1,5€/kg	5,28	6,78
<b>Tuotantokustannus raaka-aine 0€</b>	<b>1,53</b>	<b>3,03</b>

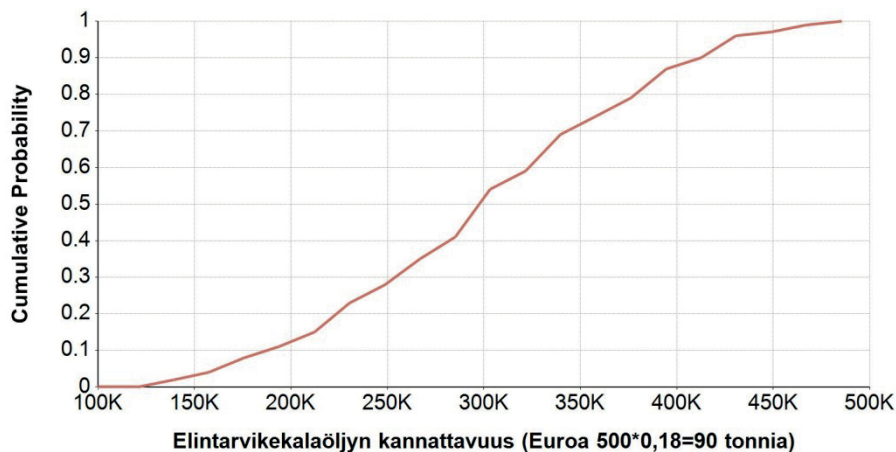
Taulukossa 15 on arvioitu pilottitutkimusten perusteella miten kannattavuus muuttuu, kun saannot muuttuvat suhteessa energia ja entsyymikustannuksiin. Energiakustannukset muuttuvat prosessin lämpötilan ja keston suhteen; käsittelyt 1-5. Energiakulutuksessa on merkittäviä eroja toisiinsa nähden, mutta niiden kustannusvaikutus kannattavuuteen on vähäinen. Vastaavasti entsyymien kustannus on hyötyyn verrattuna pieni. Entsyymille saatiin parannettua tuotesaantoa kaikkien käsittelyiden yhteydessä, jolla on suuri merkitys kannattavuuteen; kuten esimerkiksi verrattaessa käsittelyjä 4 ja 5 tai 1 ja 3.

Lisäksi selvityksessä arvioitiin rasvapitoisuuksia ja -ominaisuuksia eri lohikalojen vatsaliepeistä (Käsittely vertailu; 5, 5 lohi, 5 kirjolohi ja 5 EPA, DHA). Vaikka oletettavasti fileerausleikkauksella onkin suuri merkitys rasvapitoisuuteen ja siten öljysaantoon; koe-erien näytteiden perusteella havaittiin, että kirjolohen vatsaliepeissä on enemmän rasvaa kuin lohilla, jolloin vastaavasti öljysaanto ja kannattavuus ovat lohivatsaliepeitä parempia. Lisäksi tutkimuksessa todettiin että lohikalojen raaka-aineen laadulla, joka tässä tapauksessa johtuu kirjolohen ruokintatavasta, on vaikutusta EPAn ja DHAn määrään vatsaliepeissä. Jos valveutuneet kuluttajat ja sitä edeltävä tarjontaketju maksaisi EPA:sta ja DHA:sta samassa suhteessa enemmän; kirjolohiöljyn eristämisen kannattavuus kyseisellä ”5 EPA, DHA” kirjolohiraaka-aineesta tuotettuna, voisi olla noin 25 % normaalia raaka-ainetta parempi.

**Taulukko 15.** Eri prosessikäsitteilyiden (1-5) ja lohikalaraaka-aineiden vaikutus lohiöljytuotannon kannattavuuteen, kun lohien ja kirjolohien vatsaliepeitä on käsitelty 90 tonnia. Öljysaanto rasvasta on laboratoriokokeista; käytännössä saannot ovat pienempiä. 44,4 % on keskiarvoinen vatsaliepeiden rasvamäärä tämän selvityksen koetuloksissa

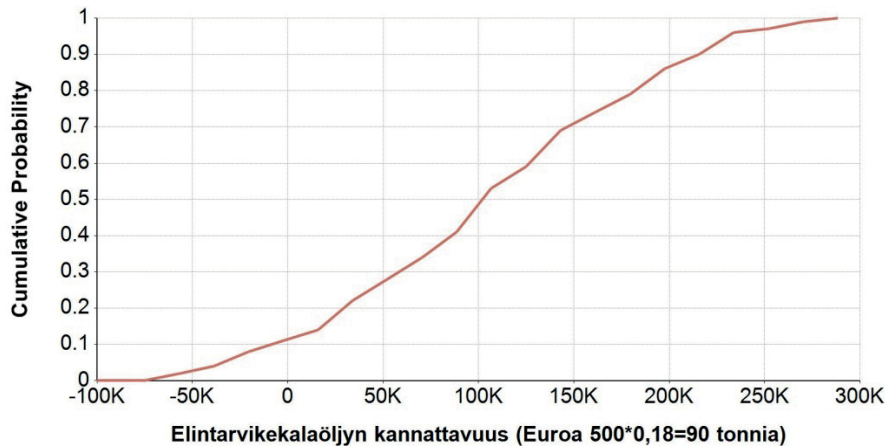
	Käsittely	1	2	3	4	5	5 Lohi	5 Kirjolohi	5 EPA,DHA
	Esiselvitys	50C, 30min	70C, 30min	50C, 30min, E	55C, 60min	55C, 60min, E	55C, 60min, E	55C, 60min, E	55C, 60min, E
<b>Muuttuvat kustannukset</b>									
Prosessilämpötila C	70	50	70	50	55	55	55	55	55
Prosessiaika minuuttia	60	30	30	30+15	60	60+15	60+15	60+15	60+16
Entsymikäsitteily (0.05% Ermitase 1)	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Erottelu-aika (käyttöaste 50%)	217	109	109	109	217	217	217	217	217
Entsyymin inaktivointi				54		54	54	54	54
Kulutusarvio kwh	12 037	5 438	6 019	9 754	11 166	17 661	17 661	17 661	17 661
<b>Energiakustannus; 0,15€/kwh</b>	<b>1 806</b>	<b>816</b>	<b>903</b>	<b>1 463</b>	<b>1 675</b>	<b>2 649</b>	<b>2 649</b>	<b>2 649</b>	<b>2 649</b>
Entsyymitarve kg				45		45	45	45	45
<b>Entsyymikustannus; 28 €/kg</b>				<b>1260</b>		<b>1260</b>	<b>1260</b>	<b>1260</b>	<b>1260</b>
<b>Energia ja entsyymi yhteensä</b>	<b>1 806</b>	<b>816</b>	<b>903</b>	<b>2 723</b>	<b>1 675</b>	<b>3 909</b>	<b>3 909</b>	<b>3 909</b>	<b>3 909</b>
<b>Tuotot</b>									
Rasvamäärä vatsaliepeissä	30.0 %	44.4 %	44.4 %	44.4 %	44.4 %	44.4 %	40.3 %	46.5 %	44.6 %
Öljysaanto rasvasta	1	0.83	0.9	0.95	0.77	1	1	1	1
<b>Öljymäärä</b>	<b>25 500</b>	<b>31 324</b>	<b>33 966</b>	<b>35 853</b>	<b>29 060</b>	<b>37 740</b>	<b>34 255</b>	<b>39 483</b>	<b>37 910</b>
EPA+DHA pitoisuus	6.5 %	6.5 %	6.5 %	6.5 %	6.5 %	6.5 %	6.5 %	6.5 %	8.5 %
<b>Tuotot yhteensä</b>	<b>89 250</b>	<b>109 635</b>	<b>118 881</b>	<b>125 486</b>	<b>101 709</b>	<b>132 090</b>	<b>119 893</b>	<b>138 189</b>	<b>173 511</b>
<b>Ero tuotossa</b>	<b>0</b>	<b>20 385</b>	<b>29 631</b>	<b>36 236</b>	<b>12 459</b>	<b>42 840</b>	<b>30 643</b>	<b>48 939</b>	<b>84 261</b>
<b>Ero kannattavuudessa</b>	<b>0</b>	<b>21 375</b>	<b>30 534</b>	<b>35 318</b>	<b>12 590</b>	<b>40 736</b>	<b>28 539</b>	<b>46 835</b>	<b>82 158</b>

Mikäli vatsaliepeiden öljysaantoja voidaan parantaa 30 %:sta 44 %:iin esiselvityksessä mallinnettu kannattavuus paranee noin 100 000 € vuodessa (kuva 22).



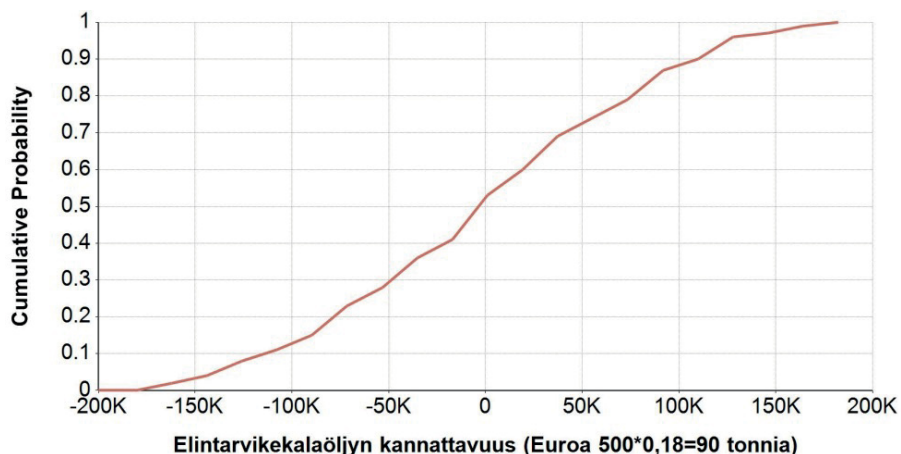
**Kuva 22.** Pilottikokeissa rasvapitoisuus vatsarasvoissa oli 40,3–46,5 %; kannattavuuslaskenta on tehty 44,4 % öljypitoisuudella olettaen, että saanto on 100 % (K= 1000 euroa).

Jos investoinnit kohdistetaan ainoastaan 90 tonnille vatsaliepeitä eikä päästä tehdä elintarvikeöljyä; kannattavuus laskee noin 100 000 € esiselvityksestä. Investointikustannusten osuus tuotantokustannukseen nousee 0,65 €/litrasta 2,15 €/litra (kuva 23).



**Kuva 23.** Prosessointitekniikkaan liittyvät investointikustannukset on kohdistettu 90 tonnille, kun esiselvityksessä kohdistettiin 300 sivuvirta tonnille, jolloin päistäkin oli tarkoitus tehdä kalaöljyä (K= 1000 euroa).

Mikäli arvioidaan onko kannattavaa tehdä elintarvikeöljyä tai myydä vatsaliepeet sellaisenaan; tulisi vatsaliepeiden suoramyyntihinnan olla alle 1 €, että öljyn tekeminen olisi kannattavaa (kuva 23).



**Kuva 23.** Vatsaliepeille on määritetty vaihtoehtoisuus 1 €/kg; jolloin esimerkiksi myyntihinnan tulisi olla suurempi kuin 3,5 €/l että öljyn prosessoiminen olisi keskimäärin kannattavaa.

### 6.3. Huomioitavaa elintarvikekalaöljyn tuottamisen kannattavuudessa

Tuotantomäärä ja vaihtoehtoiset myyntikanavat fileerausjäännökselle määrittävät onko öljyn tuottaminen kannattavaa ja kilpailukykyistä. Kolmas merkittävä tekijä on myyntihinta. Markkinoinnilla ja tarjontaketjun hinnanmuodostumisella on suuri merkitys tuotannossa saatavaan myyntihintaan ja tuotannon kannattavuuteen.

Markkinakatsauksessa vähittäismyynnissä lohikalaöljyjen hinta oli yli puolen litran pulloissa noin 30–40 €/l, jolloin voisi olettaa, että normaalien tarjontaketjun logistiikan ja myyntikatteiden jälkeenkään öljystä voisi saada enemmän kuin arvioitu 3,5 €/litrahinta. Osassa markkinakatsauksessa tarkasteltujen tuotteiden etiketeissä ilmoitetut EPA- ja DHA-pitoisuudet olivat noin puolet suurempia kuin pilottitutkimuksen raaka-aineissa. Jos ilmoitetut pitoisuudet pitävät paikkansa, pilottitutkimuksen raaka-aineista saatuja lohiöljyjä tulisi edelleen konsentroida EPA- ja DHA-pitoisuuksien lisäämiseksi että päästään vastaavanlaatuiseen lopputuotteeseen, mikä nostaisi tuotantokustannusta. Toisaalta

EPA/DHA-rasvahappojen määrän nostamiselle etenkin prosessoinin avulla ei näyttäisi olevan tarvetta. Framroze & Sawant (2014) nimittäin havaitsivat tekemissään eläinkokeissa, että jo 80 mg:n humaniannosta vastaava määrä EPA/DHA-rasvahappoja päivässä alensi hapettuneen LDL:n pitoisuutta veren seerumissa pienentäen siten sydän – ja verisuonitautiriskiä. Toisaalta suurempien EPA/DHA-annoksien (120 mg ja 180 mg) aikaansaama LDL-pitoisuuksien alentuminen ei ollut tilastollisesti merkitsevää 80 mg:n annokseen verrattuna. Huolimatta alhaisista EPA/DHA-pitoisuuksista (taulukko 12) tässä hankkeessa tuotetuilla lohikalaöljyillä 80 mg:n EPA/DHA-päiväannos saadaan jo 1,5–2 ml:sta öljyä. Lisäksi tutkijat raportoivat, että kalaöljyn altistaminen erilaisia prosessointimenetelmiä (kuumennus, hapetus ja vaihtoesteröinti) vastaaville käsittelyille, heikensi EPA/DHA-rasvahappojen kykyä alentaa hapettuneen LDL:n pitoisuutta. Eli kalaöljyn tuottaminen mahdollisimman minimaalisella prosessoinilla näyttäisi olevan terveyden kannalta edullisempaa.

Kuitenkin jos jatkojalostukselle, tukkukaupalle ja vähittäiskaupalle määriteltäisiin kullekin 30 % myyntikate ja jatkojalostukselle lisäksi 50 % konsentraatiohävikki 30 € vähittäishinnalla tuottajalle jäisi vielä noin 7 €/litra kalaöljyä.

## Viitteet

- Anon 2004a. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 852/2004. Euroopan unionin virallinen lehti L 226/3.
- Anon 2004b. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 853/2004. Euroopan unionin virallinen lehti L 226/22.
- Anon 2004c. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 854/2004.  
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:02004R0854-20150101&rid=1>.
- Anon 2008a. Komission asetus (EY) N:o 1020/2008. Euroopan unionin virallinen lehti L 277/8.
- Anon 2008b. Komission asetus (EY) N:o 1022/2008. Euroopan unionin virallinen lehti L 277/18.
- Asche, F. 2016. Fishmeal and oil: Why bother? Opportunities and challenges. Paper presented at the Nordic marine Think Tank Symposium held on 29–30 August  
([http://www.nmtt.org/images/documents/Fishmeal and Oil Why%20Bother.pdf](http://www.nmtt.org/images/documents/Fishmeal_and_Oil_Why%20Bother.pdf)).
- Catchpole OJ, Grey JB & Noermark KA 2000. Fractionation of fish oils using supercritical CO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> + ethanol mixtures. *J Supercrit Fluids* 19: 25–37
- Cheung RCF, Ng TB & Wong JH 2015. Marine Peptides: Bioactivities and Applications. *Mar Drugs* 13: 4006–4043.
- EFSA 2010. European Food Safety Authority. Scientific opinion on fish oil for human consumption. Food hygiene, including rancidity. EFSA panel on biological hazards (BIOHAZ). *EFSA Journal* 2010;8(10):1874.[http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific\\_output/files/main\\_documents/1874.pdf](http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific_output/files/main_documents/1874.pdf).
- EFSA 2012. Scientific Opinion on the Tolerable Upper Intake Level of eicosapentaenoic acid (EPA), docosahexaenoic acid (DHA) and docosapentaenoic acid (DPA). EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). *EFSA Journal* 2012;10(7):2815  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2012.2815/epdf>
- Evira 2016. Ravintolisäopas elintarvikevalvojille ja elintarvikealan toimijoille Eviran ohje 17012/5.  
<https://www.evira.fi/globalassets/tietoa-evirasta/julkaisut/oppaat/ravintolisaopas.pdf>
- FAO 2014. OECD-FAO Agricultural outlook 2013-2014, Pages 194-195 (<http://www.fao.org/3/a-i3818e.pdf>).
- FAO 2016. The state of world fisheries and aquaculture 2016. *Contributing to food security and nutrition for all*. Rome. 200 pp.
- Framroze B, Sawant S 2014. The effect of industrial processing of salmon oil on its ability to reduce serum concentrations of oxidized low-density lipoprotein- β<sub>2</sub>-glycoprotein-I complex in a mouse model. *Funct Food Health Disease* 4: 463-473.
- Grand View Research, Inc. 2016a. Report summary (<http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/omega-3-market>).
- Grand View Research, Inc. 2016b. Report summary (<https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-omega-3-market>).
- Grand View Research Inc. 2016c. Fish oil market analysis by Application Aquaculture, Direct human Consumption and Segment Forecasts to 2022. Report Summary  
(<http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/fish-oil-market>).
- Jakobsson M, Sivik B, Bergqvist PA, Strandberg B, Hjelt M & Rappe C 1991. Extraction of dioxins from cod liver oil by supercritical carbon dioxide. *J Supercrit Fluids* 4: 118–123.
- Jakobsson M, Sivik B, Bergqvist PA, Strandberg B & Rappe C 1994. Counter-current extraction of dioxins from cod liver oil by supercritical carbon dioxide. *J Supercrit Fluids* 7: 197–200.
- Jackson A & Newton RW 2016. Project to model the use of fisheries by-products in the production of marine ingredients, with special reference to the omega 3 fatty acids EPA and DHA. Report of IF-FO and University of Stirling (<http://www.iffonet.net/system/files/Report>).
- Kawashima A, Iwakiri R & Honda K 2006. Experimental study on the removal of dioxins and coplanar polychlorinated biphenyls (PCBs) from fish oil. *J. Agric. Food Chem.* 54: 10294–10299.
- Kim SK & Wijesekara I 2010. Development and biological activities of marine-derived bioactive peptides: A review. *J Func Foods* 2:1–9.
- Letisse M, Rozieres M, Hiol A, Sergent M & Comeau L 2006. Enrichment of EPA and DHA from sardine by supercritical fluid extraction without organic modifier. I. Optimization of extraction conditions. *J Supercrit Fluids* 38: 27–36.
- Mozuraityte R, Kristinova V, Standal IB, Carvajal AK & Aursand M 2016. Oxidative stability and shelf life of fish oil. *Teoksessa: Oxidative Stability and Shelf Life of Foods Containing Oils and Fats (toim. Hu M & Jacobsen C)*. Elsevier, London: 209–231.

- Norwegian Seafood Federation 2010. Guide to good practice. For establishments producing fish oil intended for human consumption. Implementing relevant EC hygiene regulations.
- Novoslavskij A, Terentjeva M, Eizenberga I, Valciņa O, Bartkevičs & V, Bērziņš A 2016. Major food-borne pathogens in fish and fish products: a review. *Ann Microbiol* 66:1–15.
- Pike IH & Jackson A 2010. Fish oil: Production and use now and in the future. *A. Lipid Technol* 22: 59–61.
- Rubio-Rodríguez N, de Diego SM, Beltrán S, Jaime I, Sanz MT & Rovira J 2012. Supercritical fluid extraction of fish oil from fish by-products: A comparison with other extraction methods. *J Food Eng* 109: 238–248.
- Rustad T, Storrø I & Slizyte R 2011. Possibilities for the utilization of marine by-products. Invited review. *International J Food Sci Technol* 46: 2001–2014.
- Shephard J, Monroig O & Tocher D 2017. Future availability of raw materials for salmon feeds and supply chain implications: The case of Scottish farmed salmon. *Aquaculture* 467:49–62.
- Shingfield KJ, Ahvenjärvi S, Toivonen V, Ärölä A, Nurmela KVV, Huhtanen P & Griinari JM 2003. Effect of dietary fish oil on biohydrogenation of fatty acids and milk fatty acid content in cows. *Anim Sci* 77:165–179.
- Setälä J & Saarni K 2015. Kalamarkkinakatsaus 2015. (<http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2016112129499>).
- Sprague M, Dick JR & Tocher DR 2016. Impact of sustainable feeds on omega-3 long-chain fatty acid levels in farmed Atlantic salmon, 2006-2015. *Sci. Rep.* 6, 21892; doi: 10.1038/srep21892.
- Suomen virallinen tilasto (SVT) 2016. Kalajalosteiden tuotanto. Helsinki: Luonnonvarakeskus <http://www.stat.fi/til/kjalt/index.html>.
- Silva S, Francis D & Tacon A 2011. Fish oils in aquaculture in retrospect. Teoksessa: *Fish Oil Replacement and Alternative Lipid Sources in Aquaculture Feeds* (toim. Turchini G, Ng W-K & Tocher D). CRC press, London: 533 p.
- Thorkelson G & Kristinsson HG 2009. Bioactive peptides from marine sources. State of art. Report to the NORA fund. *Skýrsla Matis* 14–09.
- Vielma J, Setälä J, Airaksinen S, Kankainen M, Tarkki V, Kaitaranta J, Nordström A & Nurmio J 2013. Vähäarvoisen kalamateriaalin jalostus lisäarvotuotteiksi – liiketoimintanäkymät. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, työraportteja 28.
- Yuqian H & Huashi G 2001. Preparation of high-grade fish smell-eliminating fish oil. Patent CN1318634



luke.fi

Luonnonvarakeskus  
Latokartanonkaari 9  
00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000