

## Kirjallisuuskatsaus lohensukuisten kalojen kasvatuksen ympäristövaikutuksista

Salla Kaustell ja Frans Silvenius



---

**Kirjallisuuskatsaus lohensukuisten  
kalojen kasvatuksen  
ympäristövaikutuksista**

---

**Salla Kaustell ja Frans Silvenius**

ISBN: 978-952-487-365-9 (painettu)

ISBN: 978-952-487-366-6 (verkkajulkaisu)

ISSN 1798-6419

www-osoite: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti42.pdf>

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Salla Kaustell ja Frans Silvenius

Julkaisija ja kustantaja: MTT

Julkaisuvuosi: 2012

Kannen kuva: Tapio Tuomela / MTT:n arkisto

---

# Kirjallisuuskatsaus lohensukuisten kalojen kasvatuksen ympäristövaikutuksista

---

Salla Kaustell, Frans Silvenius

<sup>1)</sup>Salla Kaustell, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT, BEL, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

<sup>2)</sup>Frans Silvenius, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT, BEL Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

## Tiivistelmä

Tämä raportti koskee kirjallisuuskatsausta lohensukuisten kalalajien ympäristövaikutustarkasteluista, joka liittyy Maa- ja elintarviketalouden tutkimuslaitoksen, Riista- ja kalantutkimuslaitoksen ja Suomen ympäristökeskuksen tekemään tutkimukseen Suomen kalankasvatuksen elinkaaritarkastelun päivittäminen”.

Suomessa kirjolohen tuotanto oli vuonna 2010 11 0000 tonnia. Yhteensä kirjolohta, lohta ja niille lähisukuisia lajeja kasvatettiin vuonna 2008 maailmassa 2 000 000 tonnia. Elinkaariarviointeja lohen ja kirjolohenkasvatuksesta on tehty mm. Norjassa, Tanskassa, Ranskassa, Kanadassa ja Isossa Britanniassa.

Tässä raportissa käsitellään koko kasvatetun kirjolohen, lohen ja lähisukuisten lajien tuotantoketjun ympäristövaikutuksia. Tähän kuuluvat rehun raaka-aineiden, kuten kalaöljyn, kalajauhon, vehnän, maissin ja teurassivutuotannon ympäristövaikutukset sekä rehun tuotannon, kasvatustoiminnan, poikaskasvatuksen ja pakkausten tuotannon ympäristövaikutukset. Erityistä huomiota raportissa kiinnitettiin tutkittujen kalatuotteiden hiilijalanjälkiin, rehukertoimeen, joka kuvaa kalalle syötetyn rehun määrän suhdetta lisäkasvuun sekä rehevöittäviin kuormituksiin.

Tutkimukseen kerätyn aineiston mukaan rehukertoimen suuruudella oli jonkin verran maantieteellistä vaihtelua. Alhaisimmat rehukertoimet olivat jopa 0,8 tienoilla, kun taas Kanadasta ilmoitettiin vuosittu-hannen vaihteessa rehukertoimeksi 1,7-2,2. Rehun valmistuksen energiankulutuksissa oli suurta vaihtelua, ja myös reseptit olivat erilaisia. Kanadassa käytettiin rehuna myös eläinperäisiä teurassivutuotteita, kun taas Euroopassa kaikki raaka-aineet olivat kala- tai eläinperäisiä. Kalajauhon osuus oli yli 30 %, usein lähes 40 %. Kalajauhon ja kalaöljyn saannissa oli myös vaihtelua, kalalajista riippuen kalajauhoa saadaan kalastetusta kalaraaka-aineesta 21-24 % ja kalaöljyä 3-13 %. Kasvatettujen lohikalojen hiilijalanjälki vaihteli suuresti ollen pääosin välillä 1,6 -2,8 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia suhteessa tonniin tuotettua kalaa. Rehevöittävästä päästöistä ilmoitettiin myös erilaisia tuloksia, vaihteluväli oli 20-75 kgPO<sub>4</sub>-ekvivalenttia suhteessa tonniin tuotettua kalaa. Suomessa kalankasvatukseen liitetään usein merkittävimpänä ympäristövaikutuksena vesien rehevöityminen. Hiilijalanjäljestä pääosa aiheutui rehun tuotantoketjusta, kun taas rehevöittävästä päästöistä suurin osa syntyi kasvatustoiminnasta. Happamoittavista päästöistä pääosa aiheutui myös rehun tuotantoketjusta.

Muita erilaisissa tutkimuksissa tutkittuja ympäristövaikutusluokkia olivat mm. energian ja luonnonvarojen kulutus, limoittumisenestoaineiden (antifouling) käytöstä aiheutuvat toksisten yhdisteiden päästöt vesiin ja siitä aiheutuvat ekotoksiset vaikutukset, antibioottien käytöstä aiheutuva bakteerien antibiootiresistenssin kasvaminen, maisemavaikutukset ja karkulaisten kautta vaikutukset tautien leviämiseen luonnonkalakantoihin ja vaikutukset luonnonkalakantojen perimään. Lisäksi Kanadassa on tutkittu kalastettujen ja kasvatettujen lohien ekologista jalanjälkeä vesi- ja maakekosysteemissä ja vertailtu myös erilaisten kasvatustekniikoiden, kuten kiertovesilaitoksen, perinteisen verkkoallaslaitoksen ja läpivirtauslaitoksen ympäristövaikutuksia.

---

# Sisällysluettelo

---

1	Johdanto.....	5
2	Aiheesta tehdyt aiemmat tutkimukset rajauksineen.....	5
3	Kasvatetun lohen ja kirjolohen tuotanto maailmalla.....	7
4	Kasvatetun kalan elinkaari .....	8
4.1	Rehun tuotanto .....	9
4.2	Kasvatustila.....	16
4.3	Kuljetukset.....	21
4.4	Prosessointi .....	21
4.5	Pakkaukset.....	22
5	Ympäristövaikutukset.....	22
5.1	Energiankulutus ja hiilijalanjälki .....	25
5.2	Rehevöityminen .....	27
5.3	Karkuun päässet yksilöt.....	29
5.4	Kemikaalit ja antibiootit .....	29
5.5	Jätteet ja sivutuotteet .....	30
5.6	Vaikutukset luonnonvaraisiin eläimiin .....	30
6	Kalastettu kala .....	30
7	Lähteet.....	34

## 1 Johdanto

Riista- ja kalantutkimuslaitos ja Suomen ympäristökeskus tekivät vuosina 1999-2001 suomalaisen kirjolohenkasvatuksen elinkaariarviointia. Tutkimuksessa selvitettiin kirjolohen tuotannon ympäristövaikutukset ja suoritettiin alustavia vertailuja sian- ja naudanlihan sekä luonnonkalan tuotantoon.

Vuosituhanne vaihteessa tehdyn tutkimuksen julkaisemisen jälkeen ovat kirjolohen kasvatuksen rehevöittävätkuormitukset vähentyneet tasaisesti, mikä on luonut tarvetta kirjolohen tuotantoa koskevan elinkaariarvioinnin toteuttamiselle. Samaan aikaan myös sian- ja naudanlihan tuotannossa on tapahtunut vastaavaa ympäristön kannalta myönteistä kehitystä ja tuotannosta on saatu tarkempia vertailutietoja, ja myös broilerista on tehty elinkaariarvioinnin. Tältä pohjalta Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos ja Suomen ympäristökeskus käynnistivät alkuvuodesta 2010 hankkeen, jonka tavoitteena on päivittää vuoden 1999-2001 tiedot suomalaisen kirjolohen kasvatuksen koko elinkaariarviointi ja verrata tuloksia yksimahaisten ja märehitijöiden lihaan sekä luonnonkalaan.

Tutkimushankkeen ensimmäisenä osana oli selvittää tässä kirjallisuuskatsauksessa kalankasvatuksen sekä toisaalta myös muun kalatalouden ympäristövaikutuksista tehdyt tutkielmat eri puolilla maailmaa. Kirjallisuuskatsaus suoritettiin vuoden 2010 aikana ja sen pääasiallinen tekijä oli tutkimusharjoittelija Salla Kausell. Kommentteja raporttiin antoivat Jouni Vielma RKTL:ltä ja Frans Silvenius MTT:ltä.

## 2 Aiheesta tehdyt aiemmat tutkimukset rajauksineen

Tutkimushakkeessa päivitettävä vanha tutkimus on Seppälän ym. (2001) tarkastelukotimaisen kirjolohen, Norjassa kasvatetun lohen, silakan, sianlihan ja naudanlihan tuotejärjestelmiä raaka-aineiden hankinnasta peratun/teurastetun eläimen toimittamiseen kauppaan tai jatkojalostukseen.

Kirjolohen tuotejärjestelmässä rajoitettiin tutkimaan vain itse kalankasvatusta ja siinä tarvittavien tuotantopanosten valmistamista sekä perkaamista, eikä varsinaisen päätuotteen ja sivutuotteiden, kuten mädin sekä perkuu- ja fileointijätteiden jatkojalostus- tai käsittelyvaiheita, joita ei ole liitetty tutkimuksen piiriin. Monien materiaalien ja kemikaalien (antibiootit, rokotteet, vitamiinit, hivenaineet, väriaineet ja anti-fouling - materiaali) valmistusprosessit eivät sisälly tutkimukseen johtuen liikesalaisuuksista tai riittämättömistä tiedoista. Polttoaineiden valmistus ja energian tuotantoketjut ympäristökuormituksineen sisältyivät tutkimukseen. Kuljetuksista huomioitiin rehun ja sen raaka-aineiden kuljetukset, poikasten kuljetukset poikaslaitoksilta kasvattamoille, kalan kuljetukset kasvattamoilta jalostukseen ja jälleenmyyntiin sekä perkuujätteiden kuljetukset kasvattamoilta turkistarhoille. (Seppälä ym. 2001)

Kirjolohen tuotantoprosessia kuvaava tuotejärjestelmä jaoteltiin Seppälän ym. tutkimuksessa seuraaviin tuotantovaiheisiin: rehun raaka-aineiden tuotanto, rehun valmistus, poikaslaitos, kasvatustoiminta, perkaamo ja pakkaukset. Tutkimuksessa käytettiin rehukerointia 1,255 sekä rehun typpipitoisuutta 6,8 % ja fosforipitoisuutta 0,91 % vuodelta 1999 (Kaukoranta 2000a). (Seppälä ym. 2001)

Ayer ja Tyedmers (2009) mallinsivat/simuloivat neljää teknologiaa kasvattaa merilohta Kanadassa. Menetelminä olivat perinteinen verkkoallaskasvatus, umpikassikasvatus, pumpattua merivettä käyttävä läpivirtauskasvatus ja pumpattua merivettä käyttävä kiertovesikasvatus. Näistä ainoastaan verkkoallasta käytetään laajassa mittakaavassa kaupallisessa lohentuotannossa Kanadassa ja muualla maailmassa. Tutkimuksessa arvioitiin abiottisten luonnonvarojen ehtyminen, ilmastonmuutospotentiaali, toksisuus ihmisiin, toksisuus meriekosysteemeissä, happamoitumisriskipotentiali, rehevöitymisriskipotentiali ja kumulatiivinen energiantarve raaka-aineiden, energian yms. tuotannosta kasvatusvaiheen loppuun asti (gradle to farm-gate). Kaikkien kasvatusmenetelmien oletettiin käyttävän samaa, perinteistä lohenrehua ja rehun tuotannon osalta vaikutukset allokoitiin sivutuotteiden ravitsemuksellisen energiasisällön mukaan.

Thrane (2004) on arvioinut ympäristövaikutukset tanskalaiselle turskalle, kampelalle, katkaravuille, sinisimpukalle, sillille ja makrillille. Hän havaitsi, että kalastusvaiheessa olisi mahdollisuuksia huomattaville parannuksille, jotka vaikuttaisivat keskeisesti kalatuotteiden ympäristökuormitukseen. Troolin korvaaminen passiivisilla ja puolipassiivisilla kalastusmetodeilla toisi huomattavia säästöjä energiankulutukseen, esimerkiksi

kampelan kalastuksessa energiankulutusta olisi mahdollista vähentää (Faktor 15) korvaamalla trooli tanskalaisella nuotalla.

Wintherin ym. (2009) tutkimuksessa selvitettiin valittujen norjalaisten kalatuotteiden hiilijalanjälki ja energiankulutus. Tutkimuksessa tutkittiin seitsemää erilaista tuotantojärjestelmää, joista kaksi oli kalankasvattamoita ja viisi kalastukseen perustuvia. Turska, kolja, seiti, silli ja makrilli kuuluivat kalastettaviin kaloihin ja lohi ja sinisimpukat viljeltyihin tuotteisiin. Kalatuotteita myös verrattiin maataloustuotteisiin, jotka kilpailevat norjalaisten kalatuotteiden kanssa eurooppalaisilla markkinoilla, kuten naudanliha, sianliha ja broileri (etupäässä eurooppalaista alkuperää). Tutkimuksessa pyrittiin määrittämään elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset keskiverto tuotannolle. Taustatiedot olivat pääosin keskiarvodataa vuodelta 2007. Ketju alkaa kalastuksesta ja kalankasvatuksessa tarvittavien materiaalien tuotannosta ja päättyy valmiiden tuotteiden kuljetukseen tukkuliikkeeseen. Tukkuliikkeen, jälleenmyyjän ja kuluttajien osuutta ei arvioitu. Jätteiden (product waste) käsittely sisällytettiin herkkyysanalyysiin. Kuluttajapakkausten tuotanto rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle, vain kuljetuspakkaukset huomioitiin. Tutkimuksessa käytettiin sähkönä pohjoismaista sähkökoitusta, jolla on viisi kertaa korkeammat kasvihuonekaasupäästöt kuin Norjalaisella keskiarvosähköllä.

Pelletier ja Tyedmers (2007) analysoivat neljän hypoteettisen rehun (perinteinen ja luomu) elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia useiden vaikutusluokkien (energian kulutus, biottinen kulutus, ilmastonmuutos, happamoituminen, rehevöityminen ja ekotoksisuus vesiekosysteemissä) mukaan. He vertailivat perinteisen ja luomutuotannon ympäristövaikutusten eroja. Pääasiallinen tulos oli, että kala- ja broileriperäiset ainesosat rehussa muodostavat huomattavasti suuremman osan rehun ympäristövaikutuksista kuin kasviperäiset ainesosat ja että perinteisen lohien rehun korvaaminen luomurehulla ei aiheuttanut parannuksia kasvatetun kalan ympäristövaikutuksiin. He toteavat myös, että kasvatusvaihe dominoi ympäristövaikutuksia rehun ympäristövaikutusten takia.

Ellingsen ym. (2009) esittelevät viimeaikaisia kalatuotteita koskevia elinkaariarviointeja ja norjalaisen kasvatetun lohien CO<sub>2</sub>- päästöjä koskevaa tutkimusta. Tarkasteltaessa lohienkasvatuksen koko elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia otetaan huomioon poikasten kasvatusta ja kuljetusta kalankasvatukseen, varsinkin kasvatustoiminta, kalojen kuljetusta teurastukseen, teurastus ja prosessointi, kuljetukset tukkuun ja jälleenmyyjälle sekä lopulta kuluttajalle. Keskeisimpinä ympäristövaikutuksina mainitaan ilmastonmuutos, happamoituminen, rehevöityminen, toksisuus ja maankäyttö. Rehun tuotannon osalta huomioidaan usein kalastus ja kasviperäisten raaka-aineiden kasvatusta sekä kuljetukset. Kalan valmistuksen vaikutuksia ei läheskään aina sisällytetä tutkimuksiin, vaikka Ellingsen ym. arvioivat niillä olevan vaikutusta kokonaisympäristövaikutuksiin.

Pelletier ym. (2009) arvioivat LCA-metodiikalla lohien (*Salmo salar*) kasvatuksen aikaisista ympäristövaikutuksista kumulatiivista energiankulutusta, biottista kulutusta, kasvihuonekaasupäästöjä, happamoittavia päästöjä ja rehevöittäviä päästöjä Norjassa, Iso-Britanniassa, Chilessä ja Kanadassa. Heidän havaintojensa mukaan rehusta aiheutuvat kasvatusvaiheen suurimmat päästöt, jotka olivat vertailumaiden keskiarvona 93 % kumuloidusta energiankulutuksesta kasvatusvaiheen loppuun mennessä, 100 % biottisesta kulutuksesta ja 94 % ilmastonmuutosvaikutuksesta ja happamoittavasta vaikutuksesta. Kasvatusvaiheen rehevöittävät päästöt olivat 85 % koko tuotannon aikaisesta rehevöittävästä vaikutuksesta.

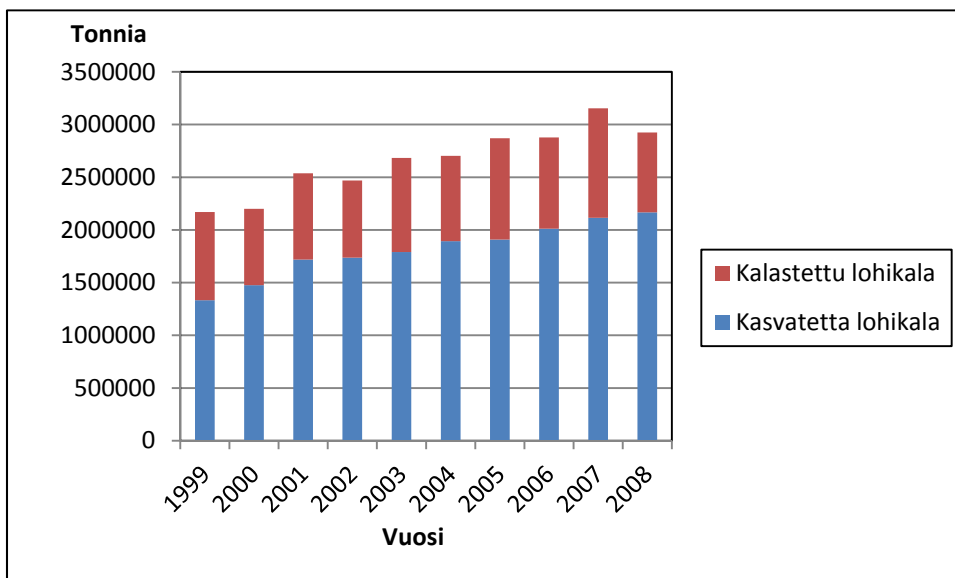
Tyedmers (2000) tutki kahdentyyppistä lohentuotantoa Brittiläisessä Kolumbiassa ja Kanadassa. Nämä olivat kaupallinen lohienkalastus ja lohienkasvatusta (farming). Lohta kalastettiin kurenuotalla (purse seine), pystyverkolla (gillnet) ja uistimilla (troll fishing gear). Kasvatetut lohet kasvatettiin maalla sijaitsevilla poikastuotantolaitoksissa ja loppukasvatusta tapahtui verkkoaltaissa (net-cage) meressä. Pohjatiedot ovat 1990-luvun lopulta. Tutkimuksessa selvitettiin, onko näiden lohentuotantotapojen biofyysisissä kustannuksissa eroja, onko kalastustapojen välillä eroja ja mitä mahdollisuuksia on vähentää lohentuotannon biofyysisiä kustannuksia. Biofyysinen laskenta suoritettiin ekologisen jalanjäljen ja energia-analyysin avulla. Tuotanto analysoitiin siihen vaiheeseen, jossa kala on valmis käsiteltäväksi. Rehun tuotannon panokset sekä rakennukset ja kalankasvattamoiden infrastruktuurin ylläpito analysoitiin yksityiskohtaisesti. Kalastetun lohien tuotanto arvioitiin sekä kalalajeittain että kalastustavoittain. Sekä ekologinen jalanjälki että energia-analyysi osoittavat, että lohien kasvatusta on tutkituista vaihtoehdoista vähiten biofyysisesti tehokasta, ja siitä syystä Brittiläisessä Kolumbiassa operoivista lohien tuotantotavoista vähiten kestävä. Tuotantotapojen välisten erojen lisäksi myös lajien välisten erojen havaittiin olevan suuria. Ekologinen jalanjälki vaihteli 5 ha/t ja 16 ha/t välillä ja energiankulutus 22-117 GJ/t. Kalarehun tuottamisen ekologinen jalanjälki on kalaperäisten tuotteiden osalta 5,6 ha ja maataloustuotteiden osalta 0,58 ha tuhatta rehukiloa kohti. Ekologinen jalanjälki kuvaa kantokyvyn

käänteisarvoa, eli pinta-alaa, joka voi ylläpitää määriteltyä populaatiota riippumatta alueen sijainnista (Rees 1996)

Ellingsen ja Aanondsen (2006) vertailivat kalastetun turskan, kasvatetun lohen ja broilerin ympäristövaikutuksia LCA-menetelmällä. Funktionaalisena yksikkönä käytettiin 200g filettä ja tutkimus keskittyi energiankäyttöön, anti-fouling -aineisiin ja maankäytön vaikutuksiin. Tutkimuksessa huomioitiin viljan viljelystä makeaan veteen aiheutuva rehevöittävä vaikutus, mutta ei lohenkasvatuksen ravinnepäästöjä meriveteen. Tulosten mukaan turskan kohdalla merkittävimmät vaikutukset syntyvät kalastusvaiheessa ja lohen ja broilerin kohdalla rehusta. Broilerin havaittiin olevan kaikista energiatehokkain, lohen ja turskan energiankulutukset olivat keskenään samaa luokkaa. Troolauksen vaikutusalue meren pohjassa arvioitiin olevan 100 kertaa suurempi kuin maapinta-ala, joka vaaditaan broilerin rehun tuotantoon per 200 g filee.

### 3 Kasvatetun lohen ja kirjolohen tuotanto maailmalla

1980-luvulla lohen kalastus kattoi yli 99 % lohen kulutuksesta maailmanlaajuisesti. Nykyään noin 40 % maailman lohesta kalastetaan kaupallisesti ja loput kasvatetaan pääosin verkkoaltaissa (Eagle ym. 2003). Lohikalojen tuotannon kehitys vuosina 1999-2008 on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1. Maailman lohien, taimenten ja kirjolohen tuotanto 1999-2008. (FAO 2011)

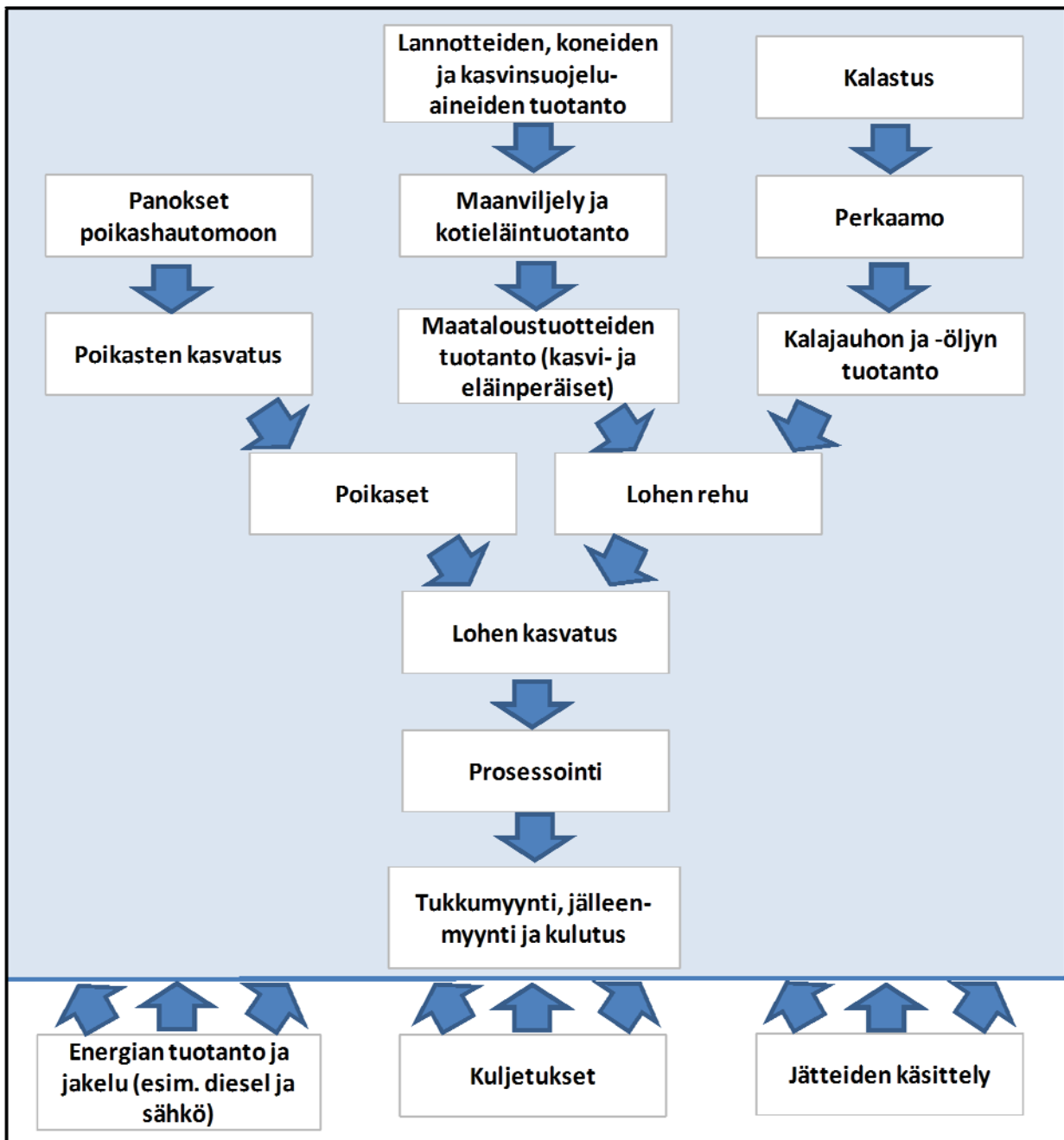
Kasvatetun lohen tuotanto ohitti Kanadassa kalastetun lohen ensimmäistä kertaa 1998 (Tyedmers 2000). FAO:n mukaan noin 50 % syötäväksi tarkoitettua kalasta on viljeltyä ja kalanviljelyn odotetaan kasvavan 70 % vuoteen 2030 mennessä. Jo tällä hetkellä kolmasosa kalastetusta kalasta globaalisti päättyy eläinten rehuksi. On arvioitu, että kalankasvatus käyttää maailmanlaajuisesti noin 70 % kalajauhasta ja noin 90 % kalaöljystä. (Bostock ym. 2010)

Maailman suurimmat lohentuottajamaat ovat Norja, Chile, Iso-Britannia (Skotlanti) ja Kanada. Norja ja Chile vastasivat yhdessä 80 prosentista lohenkasvatuksesta vuonna 2008 (FAO 2011). Suomessa kasvatettiin vuonna 2011 yhteensä noin 11,7 miljoonaa kiloa ruokakalaa, josta kirjolohta oli 11,0 miljoonaa kiloa (RKTL Vesiviljely 2010).



## 4 Kasvatetun kalan elinkaari

Oleelliset vaiheet kasvatetun kalan tuotejärjestelmässä ovat rehun raaka-aineiden tuotanto, rehun tuotanto, poikaskasvatus, jatkokasvatus, perkaus ja jalostus. (Silvenius & Grönroos 2004) Kasvatetun lohen elinkaaren liittyvät vaiheet on esitetty kuviossa 2.



Kuvio 2. Lohen kasvatuksen elinkaaren vaiheet. (Tyedmers ym. 2007)

## 4.1 Rehun tuotanto

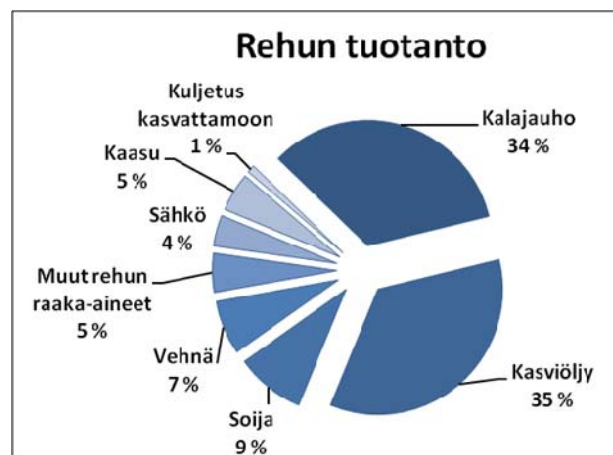
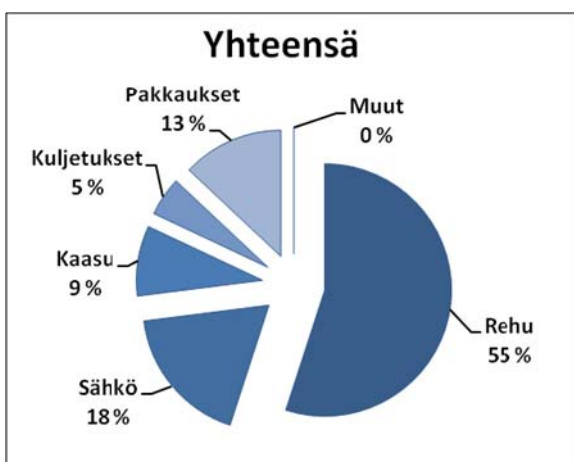
Rehu aiheuttaa suurimman osan kalankasvatuksen päästöistä (kuviot 3 ja 4). Rehukerroin, joka kuvaa käytettyä rehun määrää suhteessa kalojen lisäkasvuun vaihtelee jonkin verran, mutta on nykyisin suuruusluokkaa 1,0-1,6 (Taulukko 1.)

Taulukko 1. Lohen rehun tuotanto ja rehukerroin maittain. (Tacon & Metian 2008)

Maa	Rehun tuotanto (t)	Rehukerroin
Australia	36 450	1,4-1,6
Kanada	125 000 - 150 000	1,2-1,4
Chile	600 000 -700 000	1,2-1,4
Japani	15 500 - 16 400	1,2-1,3
Norja	834 300 - 844 400	1,0-1,4
Iso-Britannia	160 000 - 190 000	1,2-1,5
Maailman keskiarvo	1 771 200 - 1 937 300	1,0-1,6

d'Orbcastel'n ym. (2008) mukaan kasvatusmenetelmästä riippumatta rehusta aiheutuu yli puolet lohen kasvatuksen ympäristövaikutuksista. Silveniuksen ja Grönroosin (2004) mukaan rehun valmistukseen kuluu energiaa noin 485 kWh per tonni rehua. Tyedmers (2000) arvioi kalarehun tuotantoon kuluvan 828 kWh energiaa per tonni rehua ja rehunonissa arvioitiin olevan 22,400 MJ energiaa. Körnerin & Madsenin (2009) mukaan rehukilon tuotannossa käytetyn maakaasun määrä oli 171 litraa (36, 3kJ/l).

Pelletier ym. (2009) ovat todenneet, että Norjassa kalarehun valmistus on melko energiatehokasta, sillä esimerkiksi Kanadassa rehun valmistus vaatii 50 % enemmän energiaa tuhanta rehukiloa kohti kuin Norjassa. Rehuntuotannon energian ja sähkön kulutus vaihtelevat tuotantotavoittain (Taulukot 2 ja 3). Päästöjen määrä riippuu suuresti siitä, miten rehu kuivataan ja mitä polttoainetta käytetään energiantuotannossa. Siirtyminen raskaasta polttoöljystä maakaasun käyttöön vähentää CO<sub>2</sub>-päästöjä noin 20 %, NO<sub>x</sub> -päästöjä 80-90 % ja rikkipäästöt kokonaisuudessaan. (Ellingsen ym. 2009). Rehunvalmistusprosessin tärkeimmät vaiheet ovat sekoitus, pelletointi, ekstruusio ja kuivaus (Seppälä ym. 2001).



Kuviot 3 ja 4. Lohen kasvatuksen ja rehun tuotannon ilmastomuutosvaikutuksen pääasialliset lähteet. Maankäytön muutoksista aiheutuvia päästöjä ei ole huomioitu. (Körner & Madsen 2009)

Taulukko 2. Norjalaisen lohenrehun tuotannon panokset ja tuotokset. (Winther ym. 2009)

Panokset	Määrä
Vesi	3,0 t
Dieselöljy	0,22 l
Sähkö	0,011 kWh
Lämpö (kevyt polttoöljy)	15 kWh
Lämpö (maakaasu)	51 kWh
Nestekaasu	1,3 l
Höyry	82 kWh
Tuotokset	
Kalan rehu	1000 kg

### Rehun koostumus

Rehun pääasialliset raaka-aineet ovat kalajauho ja -öljy, soijatuotteet ja vehnä jauho. Kalajauho ja -öljy tuodaan Suomeen pääasiassa Tanskasta ja Islannista ja ne ovat saman valmistusprosessin tuotteita. Kalajauhon ja -öljyn raaka-aineet kalastetaan valtameriltä. Soijatuotteista pääasialliset tuotteet ovat soijarouhe ja soija-proteiini. (Silvenius & Grönroos 2004). Olsenin ym. (2008) mukaan merilohille ruokittavan rehun koostumus on keskimäärin seuraava: 40 % proteiinia, 17 % rasvaa, 19 % hiilihydraatteja, 14 % tuhkaa, 7 % vettä. Tästä 50 % on hiiltä, 6 % typpeä ja 1 % fosforia.

Rehun koostumus vaihtelee paljonkin maantieteellisesti sekä sen mukaan, mistä kalalajista ja minkä kokoisesta kalasta on kyse. Taulukossa 3 esitetään eri tutkimuksissa käytettyjä rehun koostumuksia 2000-luvulla Tyedmersin (2000), Ellingsenin ym. (2009) ja Körner & Madsenin (2009) mukaan ja taulukossa 4 Ellingsenin ja Aanondsenin (2006) tutkimuksessaan käyttämän lohen ja broilerin rehun koostumusten vertailu. Taulukossa 5 esitellään kasvi- ja eläinperäisten ainesosien osuudet rehussa eräissä tutkimuksissa.

Kalajauhon- ja öljyn korvaaminen kasviperäisillä raaka-aineilla on ollut kansainvälisen rehukehitystyön keskeinen painopiste jo pari vuosikymmentä. Torstensen ym. (2008) ovat selvittäneet mahdollisuutta korvata mahdollisimman suuri osa kalajauhosta ja kalaöljystä kasviperäisillä ainesosilla, jotta voitaisiin tuottaa mahdollisimman terveellistä ja kestävä kalaproteiinia. Heidän kokeilemassaan mallissa kaikki tunnetut ravinto-ainevaatimukset tuli täyttää myös kasviperäistä rehua käytettäessä. Tutkimuksessa syötettiin lohen poikasille joko kokonaan merenelävistä koostuvaa ravintoa tai yhtä kolmesta koostumukseltaan erilaisista kasviperäisestä rehusta 12 kuukauden ajan, kunnes ne olivat keskimäärin 4-kilaisia. Eniten kasviperäistä rehua sisältävässä rehussa 80 % kalajauhosta oli korvattu kasviproteiiniseoksella ja krillijauholla ja 70 % kalaöljystä kasviöljyseoksella. Toiset kaksi kasviperäistä rehua sisälsivät joko puolet edellä kuvatusta kalajauhon korvaamisesta ja kalaöljyn maksimaalisen korvaamisen kasviperäisillä ainesosilla tai puolet edellä kuvatusta kalaöljyn korvaamisesta ja kalajauhon maksimaalisen korvaamisen kasviperäisillä ainesosilla. Tulokseksi saatiin, että eniten kasviperäisiä ainesosia sisältävällä rehulla ruokittujen yksilöiden paino oli keskimäärin 17% tavanomaista matalampi. Rehulla saatiin kuitenkin aikaan kalaproteiinin nettotuotantoa, sillä kahteen kiloon lohiproteiinia tarvittiin kilo kalaproteiinia rehussa. Tämä tarkoittaa nelinkertaisesti tehokkaampaa kalajauhon käyttöä 80 % kasviproteiinirehussa verrattuna 100-prosenttisesti merenelävistä koostuvaan rehuun.

Wintherin ym. (2009) tutkimuksessa lohen rehussa käytettiin maatalouden tuotteista tanskalaista rypsiöljyä (osuus kasviperäisistä tuotteista 34 %), brasilialaista soijajauhoa (33 %), ranskalaista auringonkukkajauhoa (11 %), ranskalaista vehnää (20 %) ja ranskalaista vehnägluteenia (2,6 %).

Taulukko 3. Rehun koostumus eri tutkimuksissa vuosina 2000, 2001 ja 2009.

Tyedmers 2000	%	Seppälä ym. 2001	%	Ellingsen ym. 2009	%	Körner & Madsen 2009	%
Kalajauho	38	Kalajauho	38	Kalajauho	30	Kalajauho	39,5
Kalaöljy	18	Kalaöljy	27	Kalaöljy	20,5	Kalaöljy	12,1
Muut eläinperäiset	12			Muu rehukala	4,5	Herne	
Maissigluteenijauho	8	Soijaproteiini	8,3	Kasviproteiini	22	Rypsijauho	9,7
Rapsijauho	4	Soijarouhe	4,2			Soijapapu	2,2
Soijajauho	4			Kasviöljy	10,5	Soijajauho	1,3
Vehnä	15	Vehnäjauho	14	Vehnä	9,5	Vehnä	12,8
Muut	1			Muut	3	Vesi	

Muulla maailmassa kalajauhon prosentuaalinen käyttö vaihtelee välillä 20-50 % ja kalaöljyn käyttö välillä 9-35 % (Tacon & Metian 2008).

Oäiden tutkimusten mukaanvi- ja eläinperäisten ainesosien osuudet rehussa eräissä tutkimuksissa.tytuna 100-prosenttisesti meren

Taulukko 4. Ellingsenin ja Aanondsenin (2006) tutkimuksessaan käyttämän lohen ja broilerin rehun koostumus.

Rehun ainesosat	Rehun koostumus (massa %)	
	Lohi	Broileri
Kalajauho	35	5
Muu rehukala	5	-
Kalaöljy	28	-
Kalatuotteet yhteensä	68	5
Kaura	-	20
Maissi- ja vehnägluteeni	7	-
Soijatuotteet	6	15
Soijaöljy	3	-
Vehnä	12	35
Maissi	-	20
Rypsi	-	5
Kasviperäiset yhteensä	28	95
Mineraalit, vitamiinit, värit	4	-
Kaikki yhteensä	100	100

Taulukko 5. Kasvi- ja eläinperäisten ainesosien osuudet lohen rehussa eräiden tutkimusten mukaan.

Tutkimus	Kasviperäiset	Eläinperäiset
Tyedmers (2000)	31	68
Pelletier ym. (2009)		32–67
Winther ym. (2009)	40	60
Ellingsen & Aanondsen (2006)	28	68
Ellingsen ym. (2009)	42	55

#### Rehun ja sen raaka-aineiden tuotannon ympäristövaikutukset

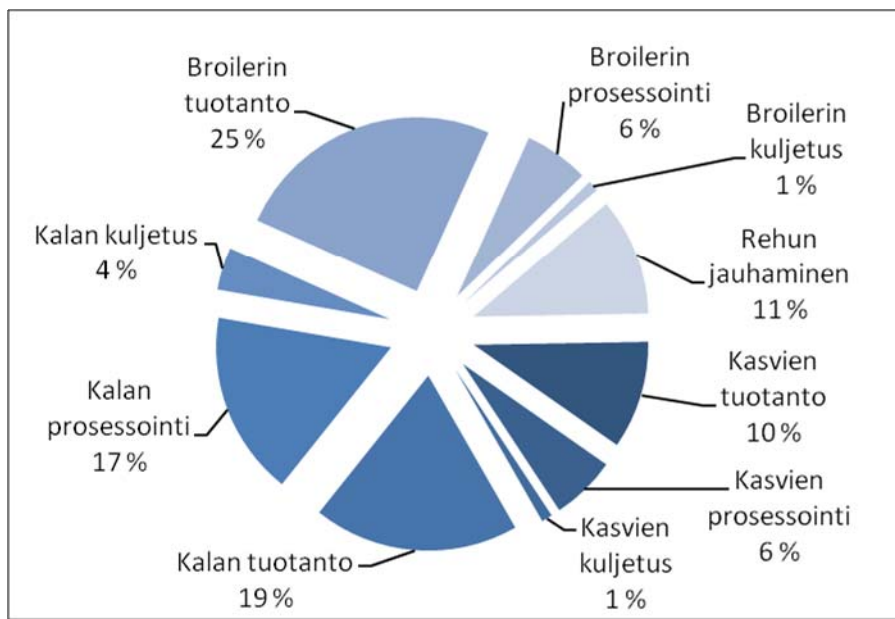
Pelletierin (2006) mukaan maataloustuotteiden, kalatuotteiden ja broilerituotteiden tuotannosta aiheutuu 54 % perinteisen rehun tuotannon energiankulutuksesta (kuvio 5). Eläinperäisten tuotteiden energiankulutus per rehun tonni on kasviperäisiä korkeampi (kuvio 6), vaikka kasviperäisten tuotteiden osuus rehussa on 50 %. Kalan prosessointi kalajauhoksi ja -öljyksi vie kaksi kertaa niin paljon energiaa kuin broilerista ja kasveista peräisin olevat ainesosat. Kuviossa 7 on esitetty tuhannen rehukilon tuottamiseen tarvittavan energiankulutuksen jakautuminen ja taulukossa 6 on jaoteltu rehun tonnin tuottamiseen tarvittava suora ja epäsuora energiankulutus sekä seurauksena syntyvät kasvihuonekaasupäästöt tuotantovaiheittain (Tyedmers 2000).

Taulukko 6. Rehun tonnin tuottamiseen tarvittava suora ja epäsuora energiankulutus, sekä seurauksena syntyvät kasvihuonekaasupäästöt. (Tyedmers 2000). Huomattavaa tässä taulukossa verrattuna kotimaiseen tilanteeseen on se, että eläinperäisten sivutuotteiden käyttäminen rehun raaka-aineena on pääasiassa pohjoisamerikkalainen ilmiö.

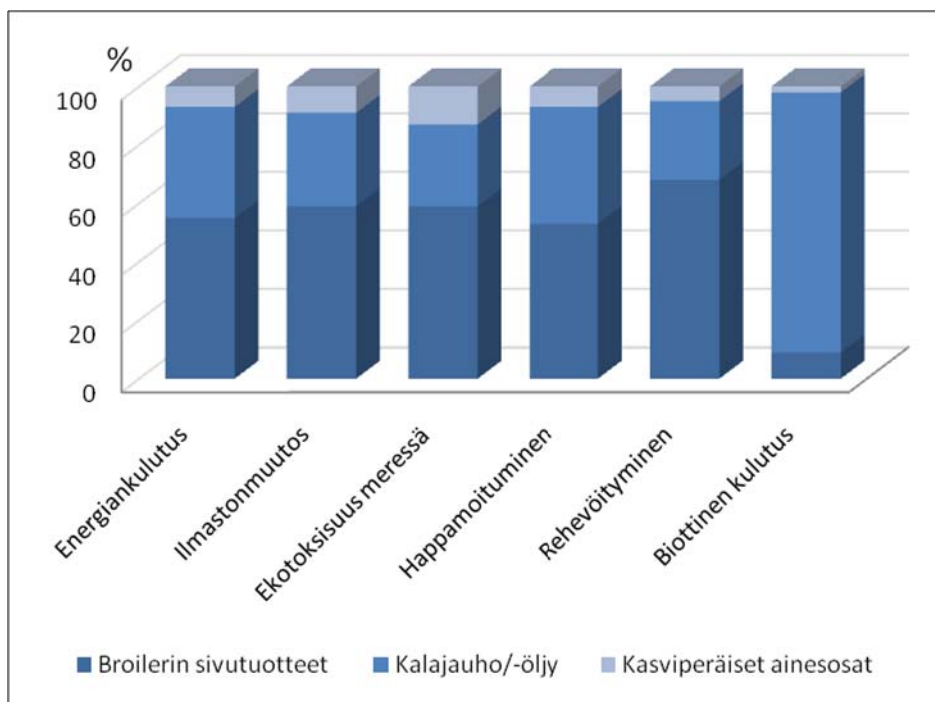
Prosessi	Diesel (MJ)	Maakaasu (MJ)	Sähkö (MJ)	Energiankulutus fossiilisena polttoaine-ekvivalenttina (MJ)
Suora polttoaineenkulutus kalastukseen	10 565			10 565
Epäsuorat panokset kalastukseen		1 554	296	2 400
Kalajauhon ja -öljyn valmistus		4 730	250	5 444
Kalajauhon ja -öljyn kuljetus	1 142			1 313
Broilerin kasvatus	4 228	2 457	1 315	10 442
Broilerin sivutuotteiden käsittely		1 200	62	1 377
Sivutuotejauhon kuljetus	62			62
Kasviperäisten ainesosien tuotanto	1 202			1 202
Rehumaissin tuotanto	9 823			9 823
Kasviperäisten ainesosien prosessointi		221	19	275
Kasviperäisten ainesosien kuljetus	2 014			2 014
Rehun jauhaminen		1 534	507	2 983
Rehun kuljetus	353			353
Yhteensä (MJ)	29 389	11 696	2 449	48 082
KHK-päästöintensiteetti (kg CO <sub>2</sub> -e./MJ)	0,0879	0,0579	0,0267	
KHK-päästöt (kg CO <sub>2</sub> -e.)	2 583	677	65	3 325

Useiden tutkimusten mukaan rehun kulutukseen ja koostumukseen vaikuttamalla voidaan saada aikaan merkittävimpiä parannuksia kasvatetun lohen ympäristövaikutuksiin. Tyedmers (2000) kuitenkin huomauttaa,

että rehun käyttöä ei voida rajattomasti vähentää eikä rehun laatua heikentää tuotantoa heikentämättä. Vaikka rehukerros olisi suhteessa matalakin, on kasvatetun lohien ekologinen jalanjälki silti paljon suurempi kuin kalastetun lohien. Eläinperäisten tuotteiden vähentäminen lohien rehussa voisi kuitenkin tuoda merkittäviä parannuksia, sillä jos esimerkiksi karjasta saatujen aineiden osuus rehussa on 12 %, niistä aiheutuu 50 % kasvatetun lohien energiankulutuksesta ja 50 % sen vaatimasta ekologisesta jalanjäljestä maaekosysteemeissä. Samoin esimerkiksi erityyppisten kalaöljyjen käytöllä voidaan vaikuttaa ympäristövaikutuksiin, sillä esimerkiksi korvaamalla Brittiläisessä Kolumbiassa tuotettu kalaöljy Meksikonlahdella tuotettuun menhaden - kalasta saatavalla öljyllä, voitaisiin kasvatetun lohien energiankulutusta teoriassa laskea yli 20 % ja pienentää ekologista jalanjälkeä maaekosysteemeissä 12 %.

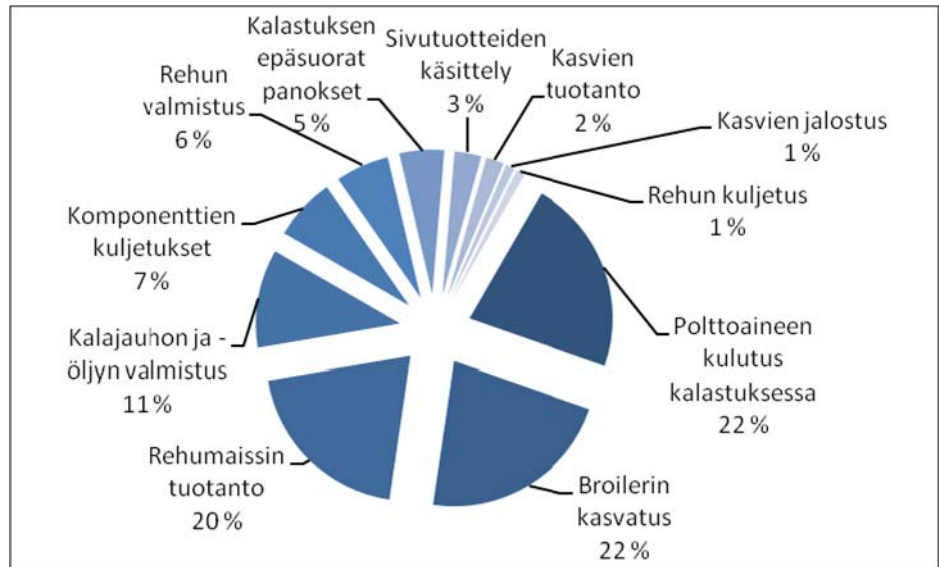


Kuvio 5. Rehun tuotantoon, prosessointiin ja kuljetuksiin kuluva energia jakautuminen (kokonaisenergiankulutus 18 100 MJ/tonni rehua). (Pelletier 2006)



Kuvio 6. Lohien rehun eri ainesosien osuus elinkaaren aikaisista ympäristövaikutuksista alkuperän mukaan (t broilerijauhoa, kalajauhoa ja perinteisiä viljeltyjä tuotteita) (Pelletier 2006)

Kuvio 7. Tuhannen rehukilon tuottamiseen tarvittavan energiankulutuksen jakautuminen (kokonaisuudessaan 48 000 MJ fossiilista polttoainekvivalenttia) (Tyedmers 2000).



## Kalajauho ja kalaöljy

Kalajauho ja -öljy ovat tärkeitä kalankasvatuksessa käytettävän rehun raaka-aineita. Maailmanlaajuisesti 46 % valmistetusta kalajauhosta ja 81 % kalaöljystä hyödynnetään kalankasvatuksessa (Tacon 2005). Kalankasvatusta kritisoidaan, koska esim. yhden lohikilon tuottamiseen tarvitaan yli 2 kiloa teollista kalaa ja edelleen lohifileen tuottamiseen noin 4,6 kg teollisuuskalaa (Naylor *et al.* 1998, 2000; Naylor and Burke 2005, Ellingsen *ym.* 2009). Kuitenkin toisaalta on todettu, että teollisuuskalan käyttö kasvatetun kalan rehuna tehostaa vähempiarvoisen kalan sisältämien luonnonvarojen hyötykäyttöä (Asgard and Austreng 1995; Tidwell and Allen 2001).

Kalajauhon ja -öljyn tuotantoon käytetään pääasiassa harmaaturskaa (*Trisopterus esmarkii*), pikkutuulenkalaa (*Ammodytes tobianus*), mustakitaturskaa (*Micromesistius poutassou*), villakuoretta (*Mallotus villosus*) ja kilohailia (*Sprattus sprattus*). Myös silliä (*Clupea harengus*), makrillia ja piikkimakrillia (*Trachurus trachurus*) käytetään. Peru on maailman suurin kalajauhon ja -öljyn tuottaja ja suurin osa tuotteista viedään ulkomaille. Vuonna 2006 Peru tuotti 1,3 miljoonaa tonnia kalajauhoa ja 578 000 tonnia kalaöljyä. Chiessä vastaavat luvut olivat vuonna 2006 665 000 t ja 180 000 t. Euroopan suurin kalajauhon (287 000 t vuonna 2006) ja -öljyn (107 000 t vuonna 2006) tuottaja on Tanska. Norja tuotti 170 000 t kalajauhoa ja 40 000 t kalaöljyä vuonna 2006. (Bellona 2009). Tacon & Metian (2008) ilmoittavat, että vuonna 2006 lohikilon tuottamiseen tarvitaan 4,9 kiloa kalastettua kalaa. Rehukerroin laskelmassa on oletettu olevan 1,25.

Kalaöljyn tuotantoon vaikuttavat kalojen saatavuus ja kalastuksen säännöstely, mistä syistä tuotanto ei voi kasvaa kysynnän mukana. Kalajauho ja kalaöljy ovat kuitenkin välttämättömiä ainesosia kalojen rehussa ravintoainekoostumuksensa takia. Kalajauhon ja öljyn saanto kalakiloa kohden vaihtelee, mutta IFFO (International Fishmeal and Fishoil Organisation) ilmoittaa yhdestä kalatonnista saatavan 225 kg kalajauhoa ja 50 kiloa kalaöljyä (Jackson 2012). Aiempia arvioita on esitetty mm. 200 kg /1t kalaa kalaöljyä (Körner & Madsen 2009,) n 215 kg/t kalaa kalajauhoa ja 45 kg/t kalaöljyä (Defra 2007). Kalajauhoa saadaan kalalajista riippuen 21-24 % ja kalaöljyä 3-13 % (Taulukko 7). Taulukossa 8 esitellään anjoviksen kalastuksen ja rehuaineksi muuttamisen panokset ja tuotokset.

Taulukko 7. Tavallisimpien kalaperäisten rehukalojen kalajauhon ja –öljyn saanto (%). (Winther ym. 2009)

Laji	Kalajauho	Kalaöljy	Lähde
Anjovis	23	5	IFFO
Menhaden	24	13	IFFO
Tuulenkala	21,5	4,5	DEFRA
Lajista riippumaton keskiarvo	21,6	3,4	DEFRA

Taulukko 8. Anjoviksen kalastuksen ja rehuaineeksi muuttamisen panokset ja tuotokset. (Winther ym. 2009)

Panokset	Määrä
Anjovis	4500 kg
Diesel	85 l
Raskas polttoöljy	132 l
Tuotokset	
Anjovisjauho	1000 kg (22 %)
Anjovisöljy	180 kg (4%)

Tavanomaisten rehukalojen lisäksi kalajauhon ja –öljyn tuotannossa käytetään myös perkuujätettä, kuten turskan perkuun sivuotteita (Peron ym. 2010). Kalajauhon raaka-aineena käytetään mm. mustakitaturskaa (Koillis-Atlanti ja tuulenkala (Pohjanmeri). Lisäksi Euroopassa käytetään raaka-aineena silliä, villakuoretta, kilohailia ja harmaaturskaa. Eteläamerikkalaisia kalalajeja, joita käytetään kalajauhon ja –öljyn valmistukseen ovat mm. perunsardelli, perunpiikkimakrilli ja chilensilli (FAO 2006, FIN 2010).

## Luomurehu

Pelletier (2006) ja Pelletier & Tyedmers (2007) arvioivat elinkaariarvioinnin avulla perinteisen ja luomulohien rehun ympäristövaikutuksia, jotta olisi mahdollista identifioida rehuun liittyvät parannusmahdollisuudet ekotehokkuudessa. Arviointi tehtiin neljälle erilaiselle rehulle: 1. perinteinen rehu, keskiarvot Brittiläisestä Kolumbiasta, 2. sama kuin edellä, mutta kaikki maataloustuotteet luomua, 3. samat luomuainekset kuin edellä, mutta eläinperäiset ainesosat ihmisten ruokaa valmistavien kalastamoiden sivutuotteita ja 4. maatalouden tuotteet luomua, broilerijauho korvattu kalajauholla, 25 % kalajauhosta korvattu luomusojajauholla ja kaikki kalaöljy korvattu luomurapsiöljyllä.

Tutkimuksessa havaittiin, että fosforilannoitteen korvaaminen energiaintensiivisellä raakafosforilla luomutuotannossa aiheuttaa luomuvehnälle perinteistä vehnää korkeamman ekotoksisuuden vesiympäristöön. Muuten luomuainekset pärjäsivät vertailussa perinteisiin raaka-aineisiin paremmin kaikissa vaikutusluokissa (energian kulutus keskimäärin 65 % verrattuna perinteisiin raaka-aineisiin, ilmastonmuutosvaikutus 56 %, happamoituminen 73 % ja rehevöityminen 66 %.) (Pelletier 2006). Lopputuloksena tutkimuksessa oli, että tuotetun luomurehun käyttö ei johda juurikaan tavanomaista rehua vähäisempiin negatiivisiin ympäristövaikutuksiin. Tutkimustulosten mukaan eläinperäisten ainesosien korvaaminen kasvipärisillä lohen rehussa voisi tuoda tuntuvia mahdollisuuksia vähentää lohenkasvatuksen ympäristövaikutuksia ja tehostaa resurssien käyttöä. (Pelletier & Tyedmers 2007, Pelletier 2006).



Kyseisestä tutkimuksesta on kuitenkin huomioitava, että allokontiratkaisut vaikuttavat suuresti tutkimuksen lopputulokseen. Kyseisessä tutkimuksessa nimittäin allokonti pää- ja sivutuotteiden välillä suoritettiin energiapitoisuuden perusteella. Tulos olisi varmasti toisenlainen, jos allokontiperusteena olisi taloudellinen arvo. Luomurehussa kalajauhon- ja öljyn raaka-aineena toimisi kalateollisuuden sivutuotteet, joissa Pelletier & Tyedmers (2007) mainitsevat, että saanto on pienempi kuin käytettäessä raaka-aineena kokonaista kalaa.

## 4.2 Kasvatuslaitos

Kasvatuslaitoksella aiheutuu valtaosa lohen kasvatukseen liittyvistä vesiin päätyvistä ravinnekuormituksista. Pääosa kasvattamoista on merellä sijaitsevia verkkoallaslaitoksia. Verkkojen kunnostukseen käytetään vaihtelevia määriä antifouling-materiaalia estämään verkkojen leväntymistä. (Seppälä ym. 2001)

Merilaitoksilla ei yleensä ole sähköenergiaa kuluttavaa laitteistoa. Sen sijaan rehua ja kaloja joudutaan kuljettamaan veneillä, mikäli kasvattamot eivät sijaitse aivan rannassa. Kasvatuslaitoksen hiilijalanjälkeen vaikuttavat panokset ja tuotokset on esitelty taulukossa 9.

Taulukko 9. Hiilijalanjälkeen vaikuttavat panokset ja tuotokset kasvatuslaitoksella tuhatta lohikiloa kohti.

Tyedmers 2000		Winther ym. 2009	
Panokset	Määrä	Panokset	Määrä
Rehu (kuiva)	1736 kg	Rehu	1200 kg
Sähkö	0	Sähkö	24 kWh
Diesel	1037 MJ	Diesel	540MJ
Bensiini	1171 MJ	Bensiini	10,7 MJ
Propaani	239 MJ	Lämpö (maakaasu)	0,27MJ
		Poikaset	20 kg
Tuotokset		Tuotokset	
Lohi (elopaino)	1000 kg	Lohi (elopaino)	1000 kg
		Kuolleet lohet	50 kg

Ennen varsinaista kasvatuslaitosta lohikaloiden poikaset kasvatetaan poikashautomoissa. Wintherin ym. (2009) mukaan poikaskasvatuksen energiankulutus oli 14 129 kWh/tonni poikasia ja tonniin lohta tarvitaan 20 kg lohenpoikasia, kun taas Silveniuksen ja Grönroosin (2003) mukaan poikaslaitoksen energian kulutus oli 5600 MJ suhteessa per tonniin poikasia.

### Kasvatusmenetelmistä

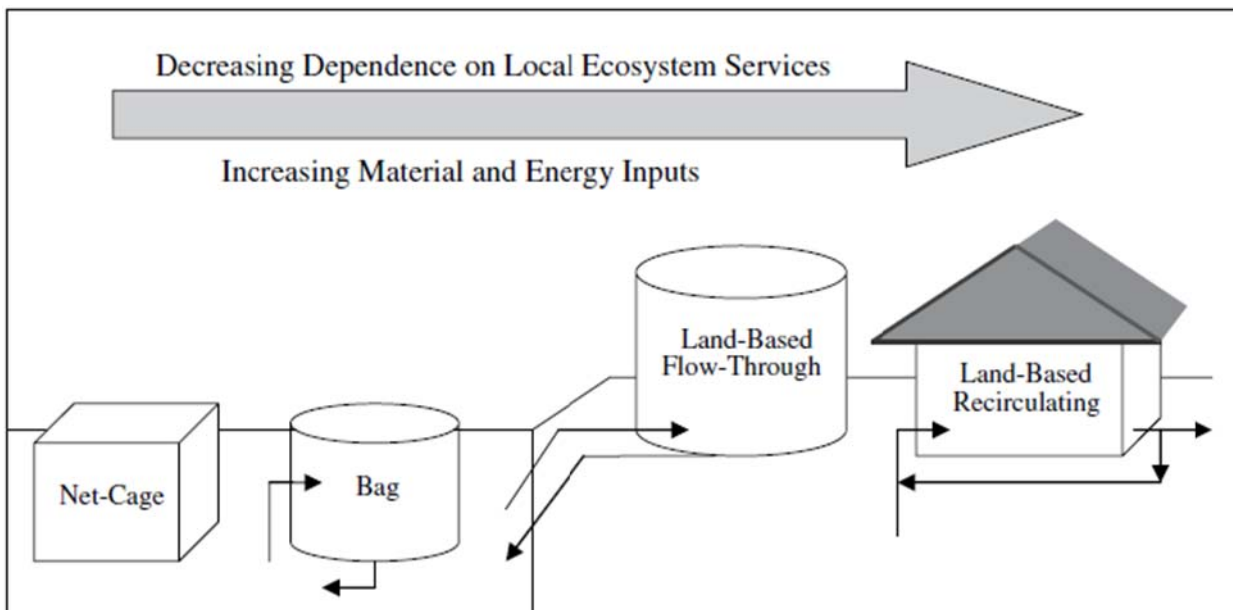
Lohta kasvatetaan maailmalla pääasiassa altaissa tai karsinoissa puoli-suojaisilla rannikkoalueilla kuten lahdissa tai salmissa. Altaat pitävät kalat sisäpuolella, mutta ovat muuten avoimia meriekosysteemille, mistä johtuen esimerkiksi ravinteet, taudit ja kemikaalit pääsevät leviämään myös altaiden ulkopuolelle. (Burrige ym. 2008) Muita kasvatusmenetelmiä ovat esimerkiksi maalla sijaitsevat altaat, joissa vesi kiertää systeemisä tai virtaa sen läpi sekä meressä sijaitseva umpikassi ja suppilo.

Ympäristökuormituksiltaan eri kalankasvatusmenetelmät eroavat toisistaan keskeisimmin siinä, että maa-altaiden pohjalle kertynyt liete on helpommin poistettavissa ja maa-altaissa ei ole verkkokassimateriaalia, jonka suojaamiseen tarvitsisi käyttää kuparipitoista anti-fouling- materiaalia. (Seppälä ym. 2001) Lisäksi maalla sijaitsevat järjestelmät vaativat erilaisia pumppaus ja lietteenpoistojärjestelmiä, joita meressä sijaitsevat kasvattamot eivät voi käyttää.

Johtuen suuresta energiantarpeesta maalle rakennetun merilaitoksen tuotejärjestelmän kasvihuonekaasupäästöt ovat selvästi suurimmat Seppälän ym. (2001) tutkimista vaihtoehdoista, seuraavina umpikassi- ja suppilomenetelmät. Suppilomenetelmässä hiilidioksidipäästöt eivät nouse kovinkaan merkittävästi. (Seppälä ym 2001)

Verkkoallas-menetelmä tuottaa eniten päästöjä veteen. Näitä ovat typpi ja fosfori kalojen jätteistä (ulosteet, rehu) ja kuparipäästöt anti-fouling-aineista, joita käytetään verkoissa. Verkkopussi ja läpivirtausmenetelmä eivät vaadi anti-fouling -aineita ja ja niiden havaittiin päästävän vähän vähemmän tyyppiä ja fosforia kalatonta kohti kuin verkkoallas, osittain siksi, että rehukertoimen oletettiin olevan pienempi. Verkkoallas-menetelmän ympäristövaikutusten havaittiin riippuvan voimakkaasti rehun laadusta ja määrästä, sillä rehun osuus vaikutuksista viidessä seitsemästä ympäristövaikutusluokasta oli 85 %. (Ayer & Tyedmers 2009)

Eri kasvatusmenetelmien materiaalivirtoja ja energiantarvetta on kuvattu kuviossa 8.



Kuvio 8. Eri kasvatusmenetelmien materiaalien ja energian tarve ja niiden kytkeytyminen ekosysteemipalveluiden tarpeeseen. (Ayer & Tyedmers 2009)

d'Orbcastel ym. (2008) selvittivät kahden kirjolohenkasvatusmenetelmän ympäristövaikutuksia LCA-menetelmällä. Menetelminä olivat läpivirtausjärjestelmä (478 t lohikaloja/a) ja kiertovesijärjestelmä (low head recirculating system). Läpivirtausmenetelmän tiedot kerättiin olemassa olevalta kasvattamolta ja kiertovesijärjestelmän (478 t lohikaloja/a, pilotointivaiheessa) osalta luvut ovat aiempaan tutkimukseen ja hypoteeseihin perustuvia.

Keskeisimmät erot ympäristövaikutusten suhteen vertailtavissa järjestelmissä koskivat vedenkäyttöä, rehevöitymispotentiaalia ja energiankäyttöä. Riippumatta järjestelmästä rehu aiheutti suurimmat päästöt. Kun kiertovesijärjestelmän vaikutukset laskettiin rehukertoimella 0,8 (verrattuna läpivirtausjärjestelmän 1,1) se pärjasi vertailussa hyvin. Sen vedestä riippuvuus oli 93 % pienempi kuin läpivirtausjärjestelmällä ja rehevöitymispotentiaali 26-38 % matalampi vähentyneen jätteiden veteen pääsemisen ansiosta. Toisaalta tuotettua kalatonta kohti kiertovesijärjestelmä kuluttaa 57,7 MJ energiaa (16 kWh per kg), mikä on 20-40 % enemmän kuin läpivirtausjärjestelmän kuluttama energiamäärä. Ilmastus ja veden käsittely aiheuttavat merkittävän osuuden energiankulutuksesta. Kuitenkin d'Orbcastelin ym. (2008) mielestä kiertovesijärjestelmällä on mahdollisuus merkittävään energiansäästöön ilmastuksen ja biosuodatuksen menetelmiä kehittämällä, mikä vähentäisi energiankulutusta samalle tasolle läpivirtausmenetelmän kanssa (34,9-43,8 MJ/kalattonni, 10-12 kWh/kg).

Lukuun ottamatta rehevöittämispotentiaalia ja vedenkulutusta rehun tuotanto ja käyttö aiheuttavat läpivirtauslaitoksen merkittävimmät ympäristövaikutukset: 100 % nettoprimaariutuotannosta, 91 % hiilijalanjäljestä, 87 % happamoittavasta vaikutuksesta ja 66 % energiankulutuksesta. Kalankasvatuksesta sen sijaan syntyy 100 % vedenkulutuksesta ja 66 % rehevöittävästä vaikutuksesta. 21 % energiasta kulutetaan sähkön tuotantoon ja kulutukseen (pumput, veden käsittely, hapetus, rehun jakelu, kalojen käsittely).

Verrattuna läpivirtausmenetelmään kiertovesijärjestelmä tarjoaa huomattavia parannuksia ekotehokkuuteen: rehevöittämispotentiaalin vähentyminen 26 % ja veden kulutuksen vähentyminen 93 %. Toisaalta energiankulutus on suurempi kiertovesijärjestelmässä. Läpivirtaus- ja kiertovesimenetelmän ympäristövaikutukset on esitelty taulukoissa 10 ja 11.

Taulukko 10. Läpivirtausmenetelmän ympäristövaikutukset tuhatta kalakiloa kohti. GWP= hiilijalanjälki, NPPU= nettoprimaariutuotanto, EP= rehevöittämispotentiaali, AP= happamoittamispotentiaali, WD= veden kulutus, SU= surface use, Fp= kalankasvatus, F= rehu, V= lääkkeet ja muut kemikaalit, O= nestemäinen happi, I= infrastruktuuri, Eq= laitteisto ja E= energian lähteet. (d'Orbcastel ym. 2009)

	FP	F	V	O	I	Eq	E	Total
GWP (kg CO <sub>2</sub> -eq) (%)	0	1,843 91	2 0.5	40 2	21 1	9 0.5	99 5	2,015
NPPU (kg C) (%)	0	27,968 100	0	0	0	0	0	27,968
Energy (MJ) (%)	0	23,159 66.5	33	2,667 7.5	239 1	259 1	8,510 24	34,869
EP (kg PO <sub>4</sub> -eq) (%)	18.75 66	9.5 34	0.001	0.04	0.01	0.005	0.11	28.5
AP (kg SO <sub>2</sub> -eq) (%)	0	11.7 87	0.02	0.3 2.5	0.2 1.5	0.3 2	0.9 7	13.4
WD (m <sup>3</sup> ) (%)	98,804 100	0	0	0	0	0	0	98,804
SU (m <sup>2</sup> ) (%)	0	2,736 100	0.2	0	0.02	0.05	0	2,737

Taulukko 11. Kiertovesimenetelmän ympäristövaikutukset tuhatta kalakiloa kohti. GWP= hiilijalanjälki, NPPU= nettoprimaariutuotanto, EP= rehevöittämispotentiaali, AP= happamoittamispotentiaali, WD= veden kulutus, SU= surface use, FP= kalankasvatus, F= rehu, V= lääkkeet ja muut kemikaalit, O= nestemäinen happi, I= infrastruktuuri, Eq= laitteisto ja E= energian lähteet. (d'Orbcastel ym. 2009)

	FP	F	V	I	Eq	E	Total
GWP (kg CO <sub>2</sub> -eq) (%)	0	1,853 91	2.1	15.5 1	38.2 2	134 7	2,043
NPPU (kg C) (%)	0	28,126 100	0.02	0	0	0	28,126
Energy (MJ) (%)	0	23,289 37	33.5	204	1234 2	38,441 61	63,202
EP (kg PO <sub>4</sub> -eq) (%)	11.4 54	9.6 45	0	0.01	0.03 0.1	0.04 0.2	21.1
AP (kg SO <sub>2</sub> -eq) (%)	0	11.8 89	0.02	0.14 1	0.39 3	0.96 7	13.3
WD (m <sup>3</sup> ) (%)	6634 100	0	0	0	0	0	6,634
SU (m <sup>2</sup> ) (%)	0	2,751.7 100	0.2	0	0	0	2,752

Ayer ja Tyedmers (2008) arvioivat LCA-menetelmällä neljän eri kalankasvatusjärjestelmän ympäristövaikutuksia.

Nämä neljä olivat perinteinen verkkoallas, kelluva merilaitos (marine floating bag), maalla sijaitseva suolaveden läpivirtausmenetelmä ja maalla sijaitseva makeaa vettä kierrättävä laitos (nieriän kasvatus). Tulokset osoittivat, että nämä ympäristöstävällisinä pidetyt vaihtoehdot perinteiselle kasvatukselle saattavat vähentää paikallisia ympäristövaikutuksia (rehevoityminen), mutta niiden käyttö voi johtaa merkittävästi kasvaneeseen materiaalien ja energian kulutukseen, mikä taas voi johtaa huomattavasti

perinteistä kasvatusta korkeampiin kuormittavuuksiin globaaleissa ympäristövaikutusluokissa (ilmastonmuutos, uusiutumattomien luonnonvarojen häviäminen). Suljetuissa systeemeissä Ayer ja Tyedmersin (2008) mukaan etuina olisi minimoitu karkaaminen, minimoitu petoeläinten uhka, minimoitu tautien levittämispotentiaali, suurempi kasvatustiheys ja paremmat jätteenkäsittelymahdollisuudet.

Tulosten perusteella neljä tutkittua järjestelmää vaativat huomattavasti toisistaan poikkeavia määriä infrastruktuuriin liittyviä panoksia tuhatta kalakiloa kohti ja panosten määrä kasvoi mitä suljetummasta systeemistä oli kyse. Tämä siitä huolimatta, että kasvatustiheys on merkittävästi suurempi suljetuissa systeemeissä (35-73 kg/m<sup>3</sup> verrattuna 20 kg/m<sup>3</sup>). Myös energiankulutuksen havaittiin olevan suurempi suljetuissa järjestelmissä kuin perinteisessä verkkoallasmenetelmässä. Verkkoallasmenetelmä käytti pääasiassa tehogeneraattoreita ja suhteessa vähän fossiilisia polttoaineita, kun taas suljetut järjestelmät nojautuvat sähkönkulutukseen, joka oli kellovassa merilaitoksessa 1492 kWh/t ja kiertovesijärjestelmässä jopa 22 600 kWh/t. Suurin osa sähköstä kuluu veden pumppaamiseen ja kierrättämiseen. Suljetut järjestelmät vaativat lisäksi enemmän keinotekoisia ”lisäaineita” kuin perinteinen menetelmä. Merilaitos ja läpivirtausjärjestelmä vaativat lisähappia, jota läpivirtausmenetelmässä kului kolme kertaa enemmän kuin merilaitoksella. Happi voidaan toimittaa nestemäisenä tai se voidaan tuottaa laitoksella kompressoreilla. Kiertovesijärjestelmä vaatii lisäksi soodan ja kalsiumkloridin lisäämisen veteen kalojen terveyden ja optimaalisen pH:n säilyttämiseksi.

Eri kalankasvatusten keskeisimmät panokset ja tuotokset sekä hiilijalanjälki, happamoittavat päästöt, rehevöittävät päästöt ja kumulatiivinen energiankulutus on esitelty taulukoissa 12 ja 13.

Taulukko 12. Eri kalankasvatusten keskeisimmät panokset ja tuotokset per tonni elävää kalaa. (Ayer & Tyedmers 2009)

	Verkkoallas	Umpikassi	Läpivirtaus	Kiertovesi
<b>Panokset (/t)</b>				
Poikaset (kg)	20,6	119	14,6	238
Rehu (kg)	1300	1170	1165	1448
Propani (l)	9,5	-	-	-
Diesel (l)	28,8	11,6	-	-
Bensiini (l)	36,3	-	-	-
Lämmitysöljy (l)	-	-	-	279
Sähkö (kWh)	-	1492	13 400	22 600
Ensisijainen energianlähde	90 % vesi	90 % vesi	90 % vesi	77 % hiili
Nestemäinen happi (m <sup>3</sup> )	-	357	1011	-
Kalsiumkloridi (kg)	-	-	-	481
Sooda (kg)	-	-	-	804
<b>Tuotokset (kg/t)</b>				
Teuraspaino (kg)	2-5,5	4-5	4-5	1,5
Kuolleisuus	90	13,6	84,4	301
Cu-päästöt veteen	0,5	-	-	-
N-päästöt veteen	31,3	28,4	26	0
P-päästöt veteen	4,9	4,4	4,1	0
<b>Kasvatussyklin aikana tuotettu kala (t)</b>	<b>3600</b>	<b>416</b>	<b>96,2</b>	<b>46,2</b>

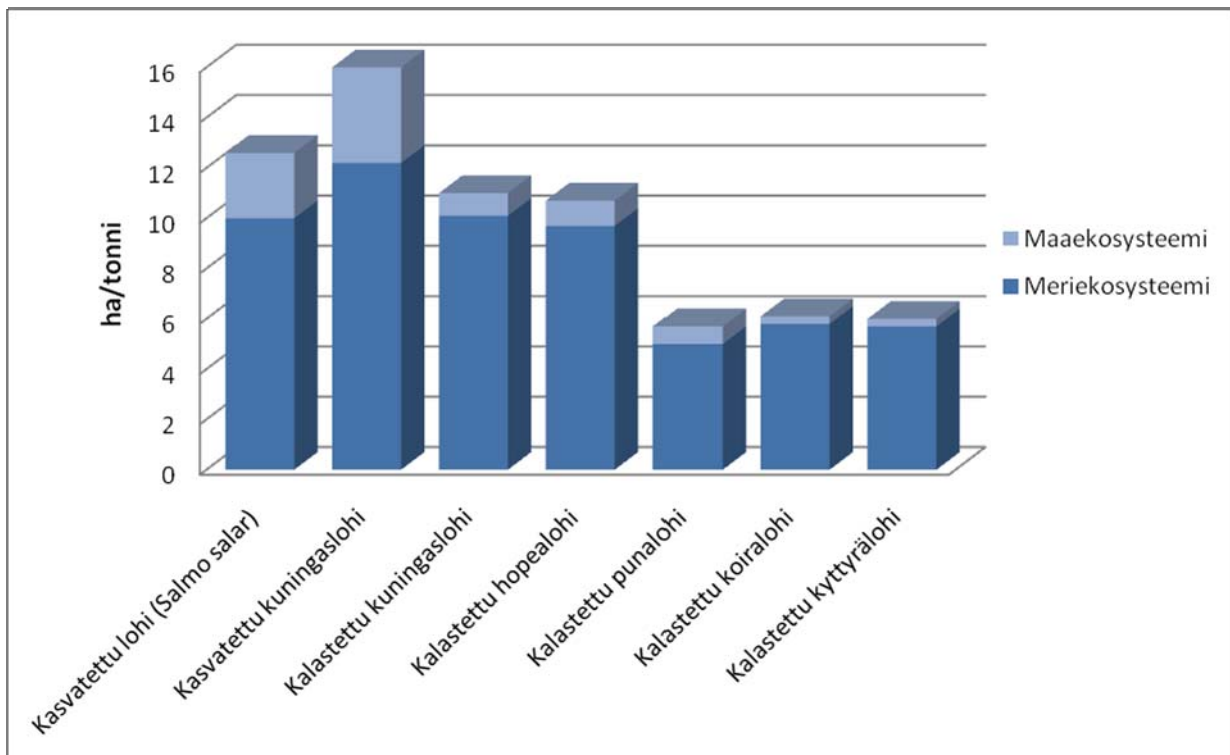
Taulukko 13. Eri kalankasvatusmenetelmien keskeisimmät ympäristövaikutukset per tonni elävää kalaa. (Ayer & Tyed-

	Hiilijalanjälki (kg CO <sub>2</sub> -e)	Happamoituminen (kg SO <sub>2</sub> -e)	Rehevöityminen (kg PO <sub>4</sub> -e)	Kumulatiivinen energiankulutus (MJ)
<b>Verkkohäkki</b>				
Poikasten kasvatusta	2,1	0,02	0,01	46,1
Infrastruktuuri	185	1,4	0,3	2560
Polttoaineen kulutus (on-site)	0,4	0,3	0,03	798
Kasvatusta	0	0	28,1	0
Rehun tuotanto	1830	16,3	6,9	23 500
<b>Yhteensä</b>	<b>2073</b>	<b>18</b>	<b>35,5</b>	<b>26 900</b>
<b>Verkkokassi</b>				
Poikasten kasvatusta	12,3	0,1	0,03	267
Infrastruktuuri	61,5	0,4	0,04	940
Sähköntuotanto	114	0,2	0,03	7810
Hapen tuotanto	31,7	0,1	0,01	2160
Polttoaineen kulutus (on-site)	35,9	0,4	0,1	486
Kasvatusta	0	0	25,4	0
Rehun tuotanto	1640	14,6	6,2	21 100
<b>Yhteensä</b>	<b>1900</b>	<b>15,8</b>	<b>31,8</b>	<b>32 800</b>
<b>Maalla sijaitseva läpivirtalaitos</b>				
Poikasten kasvatusta	1,5	0,01	0	32,5
Infrastruktuuri	31,6	0,3	0,02	401
Sähköntuotanto	1020	1,6	0,2	70 100
Hapen tuotanto	85,6	0,1	0,02	5820
Kasvatusta	0	0	23,5	0
Rehun tuotanto	1630	14,6	6,2	21 500
<b>Yhteensä</b>	<b>2770</b>	<b>16,6</b>	<b>29,9</b>	<b>97 900</b>
<b>Maalla sijaitseva kiertovesilaitos</b>				
Infrastruktuuri	161	3,2	0,1	2470
Sähköntuotanto	23 700	220	10,4	291 000
Kemikaalien tuotanto	749	6,9	0,9	9970
Polttoaineen kulutus (on-site)	974	2,1	0,2	14,4
Kasvatusta	0	0	0	0
Rehun tuotanto	2660	22,6	8,4	34 700
Vältetty kuormitus	-70,6	-0,3	-0,04	-469
<b>Yhteensä</b>	<b>28 200</b>	<b>255</b>	<b>20,1</b>	<b>353 000</b>

mers 2008)

## Eri lajien välinen vaihtelu

Sekä ekologinen jalanjälki että energia-analyysi osoittavat, että Tyedmersin (2000) tutkimista lohien kasvatusta- ja kalastustavoista lohien kasvatusta on lajista riippumatta vähiten biofyysisesti tehokasta, ja siitä syystä Brittiläisessä Kolumbiassa (Kanada) operoivista lohien tuotantotavoista vähiten kestävä. Lajitasolla kasvatettu kuningaslohi (chinook salmon) vaatii suurimman alan ekosysteemistä (16 ha/tonni). Toiseksi eniten alaa vaatii kasvatettu lohi (Atlantic salmon 12,7 ha/t), kaupallisesti pyydystetty kuningaslohi (11 ha/t) ja kaupallisesti pyydystetty hopealohi (Coho salmon 10,2 ha/t). Kaupallisesti kalastettu punalohella (sockeye), koiralohella ja kyttyrälohella (pink salmon) havaittiin olevan pienin ekologinen jalanjälki (5-5,7 ha/t). Energia-analyysin tulokset seurailivat ekologista jalanjälkeä. Kasvatettu kuningaslohi vaatii 117 GJ energiaa tuhatta kiloa kohti kun kaupallisesti kalastettu kyttyrälohi vaatii vain 22 GJ/t. Kalastettujen ja kasvatettujen lohilajien ekologinen jalanjälki maa- ja vesiekosysteemeissä on esitetty kuviossa 9.



Kuvio 9. Kalastettujen ja kasvatettujen lohilajien ekologinen jalanjälki maa- ja vesiekosysteemissä. (Tyedmers ym. 2007; Tyedmers 2000)

Lajienvälisiä eroja selittää osittain se, että eri lajien yksilöt kuluttavat eri määrän energiaa perustuen esimerkiksi uintityyliin, ruumiinrakenteeseen ja käyttäytymiseen. Myös sillä, että tietoja saatiin eri lajien osalta erikokoisista kasvattamoista, on saattanut vaikuttaa tuloksiin. (Tyedmers 2000)

### 4.3 Kuljetukset

Pelletierin (2006) mukaan kuljetuksilla ei tutkimusten mukaan ole suurta merkitystä elinkaaren aikaisiin vaikutuksiin, ja niiden osuuden energiankulutuksesta on arvioitu olevan 5 %. Seppälän ym. (2001) mukaan norjalaisen lohien pitkä kuljetusmatka Suomeen ei ole tutkimustulosten mukaan merkittävä tekijä ympäristön kannalta, sillä rehun raaka-aineiden hankintojen ja valmistuksen ilmapäästöt muodostavat suurimman osan norjalaisen lohien tuotannon ilmapäästöistä.

### 4.4 Prosessointi

Jalostusvaihe osoittautui Silveniuksen ja Grönroosin (2004) tutkimuksessa ympäristökuormitusten kannalta lähes poikkeuksetta vähemmän merkitykselliseksi kuin alkutuotantovaihe.

Energiaa kuluttavat perkauskoneiden lisäksi pumppaukset ja sähkömoottoreilla toimivat kuljettimet. Perkauksen energiankulutus vaihtelee yrityksittäin varsin paljon. Fileoinnin ja ruodonpoiston päästöt ovat Suomessa pienet, koska nämä vaiheet tehdään pääsääntöisesti käsin. (Silvenius & Grönroos 2004) Winther ym. (2009) laskivat kalan fileoinnissa käytettävän 568 kWh energiaa per tonni kalaa ja jäädytyksessä keskimäärin 133 kWh/t.

Lohen teurastuksen energiankäyttöön ja hiilijalanjälkeen vaikuttavat panokset ja tuotokset on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. Lohen teurastuksen energiankäyttöön ja hiilijalanjälkeen vaikuttavat panokset ja tuotokset tuhatta kiloa elävää lohta kohti. (Winther ym. 2009)

Panokset	Määrä
Lohi	1000 kg
Sähkö	81 kWh
Hiilidioksidi	0,15 kg
Vesi	3500 l
Kylmäaine R22	0,45 g
Kylmäaine NH <sub>3</sub>	7,4 g
Jää	207 kg
Tuotokset	
Lohi, perattu	882 kg
Lohen sivutuotteet	178 kg

Edellä mainittujen lisäksi Winther ym. (2009) laskivat kalan jäädytyksessä käytettävän sähköä keskimäärin 133 kWh/ tonni jäädytettyä kalaa.

## 4.5 Pakkaukset

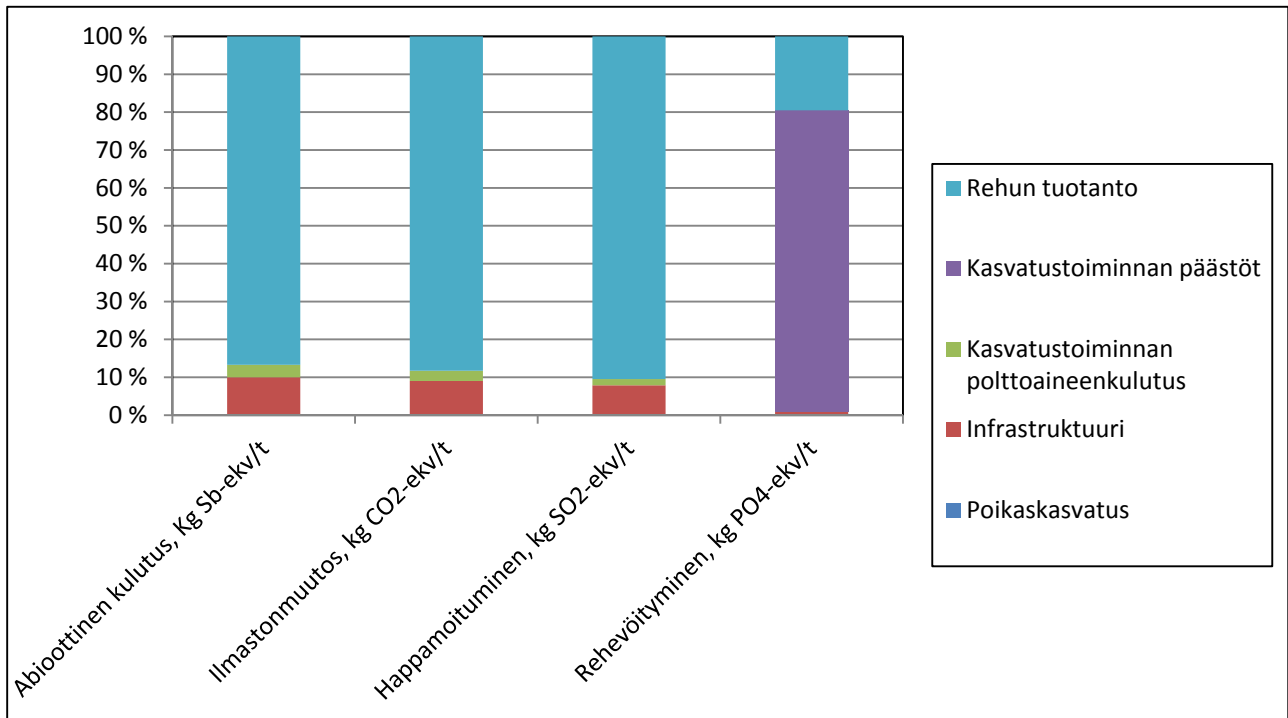
Silveniuksen ja Grönroosin (2004) tarkastelemien kalajalostustuotteiden jalostusvaiheessa suurimmat ympäristövaikutukset aiheutuivat pakkausten valmistamisesta. Kalatuotteiden säilyvyyden kannalta pakkauksilla on suuri merkitys, minkä vuoksi pakkausmenetelmiä tai -materiaaleja ei voida valita pelkästään niiden aiheuttamien ympäristövaikutusten pohjalta. Pakkausten ympäristöystävällisyyden lisäämisessä ovat kuitenkin jalostustoiminnan suurimmat parannusmahdollisuudet.

Kala pakataan tavallisesti styrox-laatikoihin, muovilaatikoihin tai kontteihin. Styrox-laatikot valmistetaan polystyreenistä. Niiden tekemiseen kuluu energiaa, raskasta polttoöljyä ja pentaania ponnekaasuna. Suuri osa käytetystä pentaanista päätyy ilmakehään. Kalojen lisäksi laatikoihin pakataan jätettä 170 g/kg kalaa. Silveniuksen ja Grönroosin (2004) mukaan styroxia tarvitaan 20-30 kg kalatonna kohti.

## 5 Ympäristövaikutukset

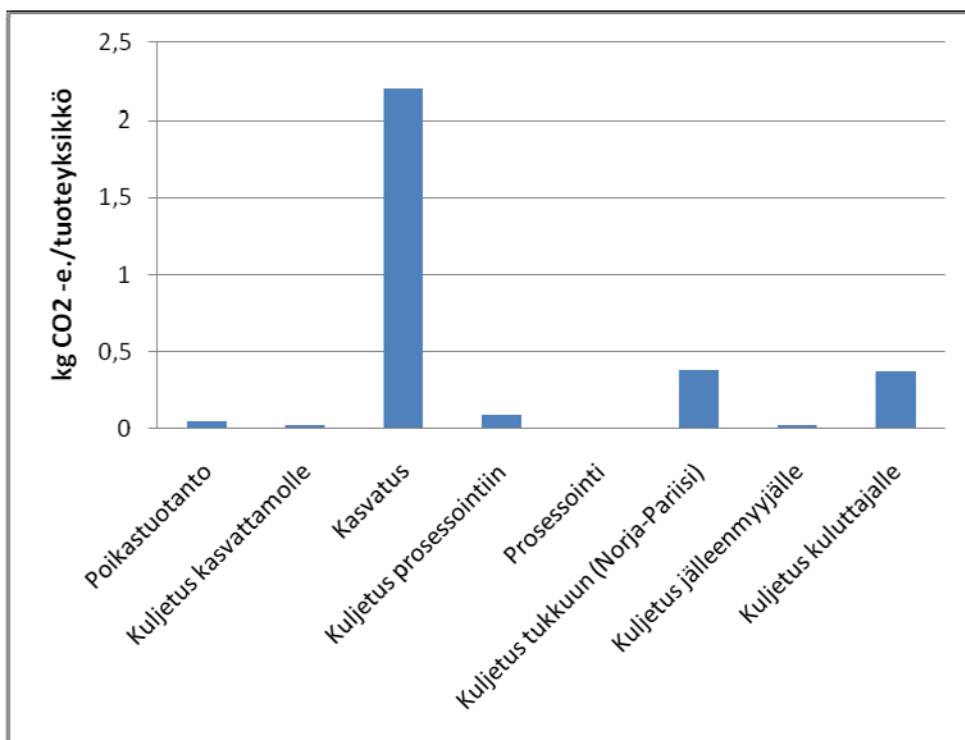
Silveniuksen ja Grönroosin (2004) mukaan Suomessa kalankasvatukseen liitetään usein merkittävimpänä ympäristövaikutuksena vesien rehevöityminen. Ilmastonmuutoksen, happamoitumisen, toksisten vaikutusten ja maankäytön muutosten lisäksi muita itse kasvatustoimintaan liittyviä vaikutuksia ovat mm. limoittumisenestoaineiden (antifouling) käytöstä aiheutuvat toksisten yhdisteiden päästöt vesiin ja siitä aiheutuvat ekotoksiset vaikutukset, antibioottien käytöstä aiheutuva bakteerien antibioottiresistenssin kasvaminen, maimemavaikutukset ja karkulaisten kautta vaikutukset tautien leviämiseen luonnonkalakantoihin ja vaikutukset luonnonkalakantojen perimään. Kalankasvatukseen liittyy myös eläinsuojelullisia näkökohtia.

Kalankasvatus aiheuttaa välillisiä vaikutuksia ympäristöön rehun valmistamisen kautta, esimerkiksi liikakalastuksen ja rehukalan kalastuksen pohjaeliöstölle aiheuttamien vaikutusten muodossa. Myös muiden rehu- raaka- aineiden tuotannosta, kuten soijan ja viljakasvien viljelystä, aiheutuu ympäristövaikutuksia. Myös kalojen, rehujen ja rehuraaka-aineiden kuljetuksilla on oma osuutensa kokonaisympäristövaikutuksissa. (Silvenius & Grönroos 2004) Kirjolohien tuotannon keskeisimpien panosten suhteellinen osuus eri ympäristövaikutusluokissa on esitetty kuviossa 10.



Kuvio 10. Kirjolohen tuotannon keskeisimpien panosten suhteellinen osuus eri ympäristövaikutusluokissa. (Ayer & Tyedmers 2009)

Winther ym. (2009) havaitsivat, että ympäristövaikutusten kannalta suurin merkitys on kasvatetun kalan osalta kalarehun tuotannolla ja kalastuksen osalta käytettävän polttoaineen kulutuksella. Myös Pelletier ym. (2009) toteavat rehun tuotannon dominoivan kasvatetun lohen (gradle-to-farm-gate) ympäristövaikutuksia kaikissa muissa vaikutusluokissa paitsi rehevöitymisessä. Kasvatusvaihe dominoi ympäristövaikutuksia rehun tuotannon takia (kuvio 11). (Ellingsen & Aanonsen 2006)



Kuvio 11. Kasvihuonekaasupäästöt lohentuotannossa tuotantovaiheittain tuoteyksikköä kohti. (Ellingsen ym. 2009)



Grönroosin ja Silveniuksen mukaan alkutuotantovaiheen rehevöittäville päästöillä on suomalaisessa kalankasvatuksessa ratkaiseva merkitys ympäristövaikutuksiin. Myös ilmaan kohdistuvia päästöjä syntyy eniten alkutuotantovaiheessa. Kuljetusten merkityksen havaittiin olevan pääosin pieni – tosin tähän vaiheeseen sisältyivät vain kalan kuljetukset. Vähittäis- ja tukkukaupan merkitys oli suuri, kun tuotetta varastoitettiin pitkään kylmässä lämpötilassa. Jos koko tuotejärjestelmää tarkastellaan ilman alkutuotantovaihetta varsinaisen jalostusvaiheen ja pakkausten valmistamisen lisäksi merkittävä vaihe on tuotteen valmistaminen ateriaksi kotitaloudessa ja siihen liittyvä energiankulutus. (Silvenius & Grönroos 2004)

Tyedmersin (2000) mukaan tuhat kiloa kasvatettua lohta vaatii 9,9-12,4 ha meriekosysteemiä ja 2,8-3,6 ha maaekosysteemiä lajista riippuen. Yli 99 prosenttia kasvatetun lohen vaatimasta meriekosysteemistä johtuu rehun kalaperäisten rehun ainesosien tuottamisesta. Maaekosysteemin puolella yli 99 % ekologisesta jalanjäljestä muodostuu suorasta ja epäsuorasta energiankulutuksesta.

Pelletier ym. (2009) havaitsivat, että Norjassa kaikki tutkitut ympäristövaikutukset paitsi biotinen kulutus (biotic resource use) olivat matalammat kuin vertailumaissa (Chile, Kanada, Iso-Britannia). Fosforirikkaan broilerijauhon osuus (15 % rehun massasta) aiheuttaa yli 50 % fosforipäästöistä Kanadalaisessa lohenkasvatuksessa. Verrattuna vuoden 1997 ja 2003 tuotantoon kasvihuonekaasupäästöt olivat nousseet 16-21 % pääasiassa lisääntyneen broilerijauhon käytön seurauksena.

Kalankasvatuksen ympäristövaikutuksiin kuuluvat edellä mainittujen lisäksi mm. lohitaiden leviäminen ja maankäytön muutokset. (Ellingsen, Olaussen & Utne 2009) Grönroosin ja Silveniuksen (2004) mukaan tärkein luonnon monimuotoisuuden vaikuttava tekijä tutkituilla kalatuotteilla oli norjalaisen kasvatetun lohen aiheuttama geneettinen uhka villoille lohikannoille sekä karkulaisten levittämät kalataudit ja loiset.

Keskeisimmät lohen kasvatuksen ympäristövaikutuksiin liittyvät tunnusluvut on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15. Eräissä tutkimuksissa käytetyt rehukertoimet, sekä hiilijalanjälki ja rehevöittävät päästöt.

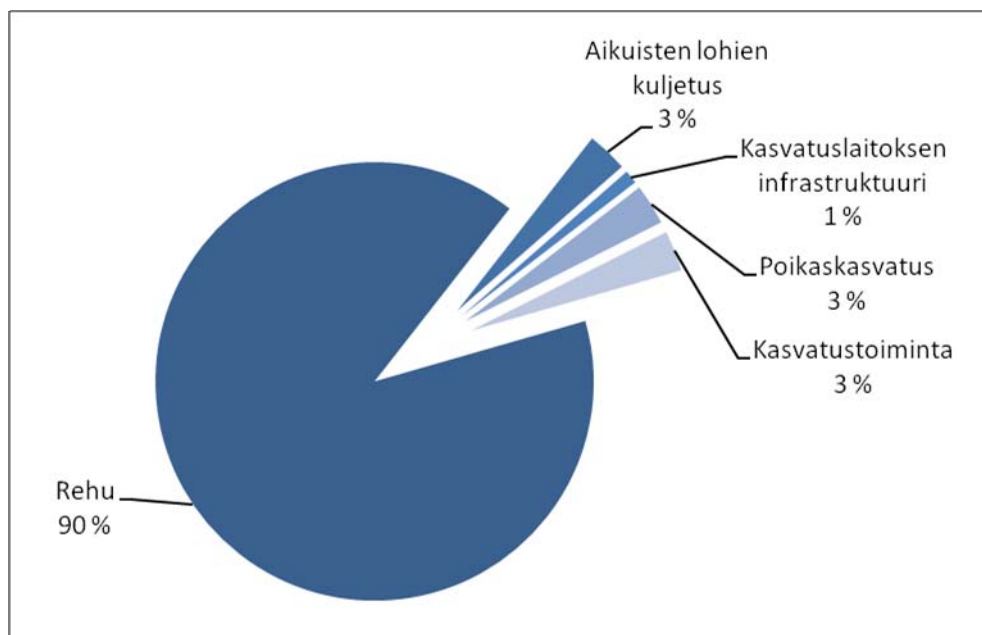
Kohdema	Tutkimus	kg CO <sub>2</sub> -e.	kg PO <sub>4</sub> -e.	Rehukerroin
Chile	Pelletier ym. 2009	2,3	51	1,5
Kanada	Pelletier ym. 2009	2,37	75	1,3
Kanada	Tyedmers 2000	1,8-8,0 <sup>1</sup>	ei tiedossa	1,74-2,18
Kanada	Ayer & Tyedmers 2009	1,9-2,8 <sup>2</sup>	20-35	1,17-1,45
Kanada	Pelletier & Tyedmers 2007	1,2-2,7 <sup>3</sup>	ei tiedossa	1,3
Koillinen Tyynimeri	Pelletier 2006	1,2-2,7 <sup>3</sup>	ei tiedossa	1,3
Norja	Pelletier ym. 2009	1,79	41	1,1
Norja	Winther ym. 2009	2,0	ei tiedossa	1,0 / 1,2
Norja	Ellingsen ym. 2009	2,2-3,0	ei tiedossa	1,2 (ka)
Ranska	d'Orbcastel ym. 2008	1,60-2,04	18-28	0,8-1,1
Tanska	Körner & Madsen 2009	3,97 <sup>4</sup> (tuore 1,2)	ei tiedossa	0,9
Iso-Britannia	Pelletier ym. 2009	3,27	63	1,3
<sup>1</sup> useat lajit, kalastettu ja kasvatettu <sup>2</sup> eri kasvatusmenetelmät <sup>3</sup> perinteinen ja luomurehu <sup>4</sup> Savustettu filee				

Rehukertoimissa otetaan huomioon taudeista, karkaamisista, tehottomista ruokintatavoista yms. johtuva hävikki. (Ellingsen ym. 2009)

Winther ym. (2009) toteavat, että allokointimenetelmällä on huomattava vaikutus elinkaaritutkimusten tuloksiin, joten vain samalla perusteella allokoituja tuotteita voi verrata keskenään. Tärkein allokointivaihe on fileen, sekä fileoinnin ja perkuujätteiden allokointi, jossa massa-allokoinnin käyttäminen puolittaa tuloksen taloudelliseen allokointiin verrattuna (Hartikainen 2011). Myös Svanes et al. (2010) ovat tutkineet tätä ja suosittelevat massa-allokointia ulkoiseen viestintään kalaa koskevilla elinkaaritutkimuksissa. Seppälä et al. (2001) käyttivät massa-allokointia.

## 5.1 Energiankulutus ja hiilijalanjälki

Kirjolojen tuotantoprosessissa merkittävimmät ilmapäästöt aiheutuvat rehun sekä sen raaka-aineiden valmistuksesta ja kuljetuksista. Pakkausten osuus kokonaiskuormituksesta on pieni. Poikaslaitoksen ja perkaamon osuus kuormituksesta on alle 3 % keskeisimmillä päästökomponentilla. Kaikkein suurin yksittäinen ilmapäästöjen lähde on kalajauhon ja -öljyn raaka-aineiden kalastus, joka aiheuttaa mm. hiilidioksidipäästöistä 56 % ja NO<sub>x</sub>-päästöistä puolet. Rehun ja sen raaka-aineen valmistusprosessit ovat tärkeimmät SO<sub>x</sub>- ja VOC-kuormitusten lähteet. Huomattava osa hiilidioksidista on peräisin hiilen käytöstä energianlähteenä. (Seppälä ym 2001) Tyedmers (2000) arvioi rehun aiheuttavan 90 % kaikesta kalankasvatuksen energiankäytöstä (kuvio 12).



Kuvio 12. Tuhannen lohikilon tuottamiseen tarvittavan energiankulutuksen jakautuminen tuotantovaiheittain (kokonaisenergiankulutus 94 100 MJ) (Tyedmers 2000).

Körner ja Madsen (2009) havaitsivat, että rehusta aiheutuu 62 % savustetun lohifileen ilmastonmuutosvaikutuksesta. Toiseksi tärkein tekijä ilmastonmuutoksen kannalta oli energiankulutus (sähkö) ja kaasun kulutus. Kalarehussa kalajauho ja rypsiöljy muodostavat suurimmat ilmastonmuutosvaikutukset (34 ja 35 % rehun ilmastonmuutosvaikutuksesta).

Winterin ym. (2009) mukaan energian kulutus ja hiilijalanjälki korreloivat voimakkaasti. Useissa LCA-tutkimuksissa on todettu, että fossiilisten polttoaineiden käyttö liittyy useisiin muihinkin ympäristövaikutuksiin (Ayer & Tyedmers 2009). Pelletier (2006) ehdottaakin, että energiankulutusta voitaisiin käyttää yleisindikaattorina kalatuotteiden ympäristövaikutusten suhteen. Winter ym. (2009) ovat vetäneet johtopäätöksen, että biologisten vaikutusten ja korkean energiankulutuksen välillä on korrelaatio muun muassa siitä syystä että, kun kalavaranto on ylikuormitettu, vaaditaan enemmän energiaa tietyn kalamäärään kalastamiseksi ver-

rattuna tilanteeseen, jossa kalavarantoa kalastetaan kestävästi samalla laitteistolla. Myös tästä syystä on ajateltu, että energiankulutus tai ilmastopäästöt voisivat olla käytännöllinen yleisindikaattori kalastukselle.

Wintherin ym. (2009) mukaan myös vanhan sukupolven kylmäaineiden käytöllä on merkittävä vaikutus hiilijalanjäljen muodostumisessa. Kasvatetun lohien ja eräiden kalastettujen kalojen energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt vaiheittain on esitetty taulukoissa 16 ja 17.

Taulukko 16. Kasvatetun lohien energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt vaiheittain. (Winther ym. 2009)

Kasvatettu kala Tuote	Kasvihuonekaasupäästöt (kg CO <sub>2</sub> e/kg syötävää tuotetta tukkuliikkeessä)						Energiankulutus MJ/kg
	Yhteensä	Rehun tuotanto	Kasvatus	Prosessointi	Tuotteen kuljetus	Pakkaukset	
Lohi, tuore perattu Pariisiin	3,6	2,72	0,14	0,03	0,51	0,2	55,4
Lohi, tuore perattu Tokioon <sup>1</sup>	13,86	2,72	0,14	0,03	10,83	0,14	210,2
Lohi, pakastettu perattu Shanghaihin <sup>2</sup>	4,2	2,72	0,14	0,05	1,18	0,11	61,5
Pakastettu file Eurooppaan	2,5	1,9	0,1	0,14	0,26	0,09	40,7
Lohi, tuore file Pariisiin	2,47	1,9	0,1	0,18	0,21	0,07	40,7

<sup>1</sup> lentokoneella

<sup>2</sup> laivalla

Taulukko 17. Kalastetun kalan energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt vaiheittain. (Winther ym. 2009)

Kalastettu kala Tuote	Kasvihuonekaasupäästöt (kg CO <sub>2</sub> e/kg syötävää tuotetta tukkuliikkeessä)						Energiankulutus MJ/kg
	Yhteensä	Diesel kalastukseen	Kylmäaineet	Prosessointi	Kuljetus	Pakkaus	
Turska, tuore perattu Pariisiin	3,6	1,81	1,05	0	0,57	0,19	42,6
Turska, tuore file Pariisiin	2,51	1,27	0,74	0,12	0,28	0,09	31,3
Seiti, pakastettu file Berliiniin	2,56	1,44	0,69	0,17	0,19	0,07	32,7
Kolja, tuore perattu Lontoseen	3,84	2,26	1,07	0	0,3	0,21	44,7
Silli, pakastettu file Moskovaan	1,39	0,28	0,04	0,16	0,83	0,07	23,8

Tyedmersin (2000) laskelmien mukaan tonni tehokasvatettua lohta vaatii 94 000-117 000 MJ energiaa lajista riippuen ja rehun tuotanto aiheuttaa 90 % energiankäytöstä. Tonni kalastettua lohta sen sijaan vaatii 22 300–41 200 MJ energiaa lajista riippuen ja valtaosa energiankulutuksesta tulee polttoaineen käytöstä kalastusaluksilla.

Winther ym. (2009) havaitsivat, että norjalaiset kalatuotteet ovat suhteellisen tehokkaita, mitä tulee hiilijalanjälkeen ja energiankulutukseen, verrattuna sekä kirjallisuustietoihin että eurooppalaiseen lihantuotantoon (taulukko 18). Tehokkuus lihantuotantoon verrattuna johtuu ainakin osittain siitä, että kalat ovat kylmäverisiä eläimiä ja vaativat siten vähemmän energiaa lihakiloa kohden kuin lämminveriset eläimet. Lohi muuttaa 27 % rehun energiasta syötäväksi kelpaavaan muotoon, kun vastaava luku broilerilla on 12 %. Vastaavat luvut proteiinin suhteen ovat lohella 30 % ja broilerilla 18 % (Ellingsen ym. 2009).

Myös Pelletier ym. (2009) havaitsivat Norjalaisen kalankasvatuksen olevan tehokasta vertaillen kalankasvatuksen tehokkuutta neljässä suurimmassa lohenkasvatusmaassa. Tutkimuksen mukaan tonnia lohta kohti kalankasvattamon energiankäyttö on Iso-Britanniassa 40 %, Kanadassa 44 % ja Chilessä 85 % korkeampi kuin Norjassa. Norjassa käytetään vähemmän materiaalia ja energiaa kasvatuslaitoksilla.

Ellingsenin ym. (2009) tutkimuksen mukaan kasvihuonekaasujen päästöt lohenkasvatuksessa vaihtelivat 2,2 ja 3,0 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalentin välillä per kilo lohta riippuen siitä, käytettiinkö rehun tuotannossa raskasta polttoöljyä vai maakaasua, sekä valmiin tuotteen kuljetuksista.

Taulukko 18. Eräiden liha- ja kalatuotteiden hiilijalanjälki ja energiankulutus (kg tuotetta laiturilla/teurastamossa) Sivutuotteita ei käytetty hyväksi. (Winther ym. 2009)

Laji	Hiilijalanjälki (kg CO <sub>2</sub> /kg)	Energian käyttö (MJ/kg)	Viite
Naudanliha, ruotsalainen	30	79	Cederberg ym. 2009
Sianliha, ruotsalainen	5,9	41	Cederberg ym. 2009
Broileri, ruotsalainen	2,7	29	Cederberg ym. 2009
Lohi	2,9	40	Winther ym. 2009
Turska	2,9	27	Winther ym. 2009
Kolja	3,3	34	Winther ym. 2009
Makrilli	0,54	7,1	Winther ym. 2009
Silli	0,52	6,8	Winther ym. 2009

Myös kalan pakkaaminen koneellisesti kuluttaa energiaa. Esimerkiksi vakuumpakkauksiin käytetty vakuu- mikone kuluttaa sähköenergiaa 20-50 kWh/t. (Silvenius & Grönroos 2004)

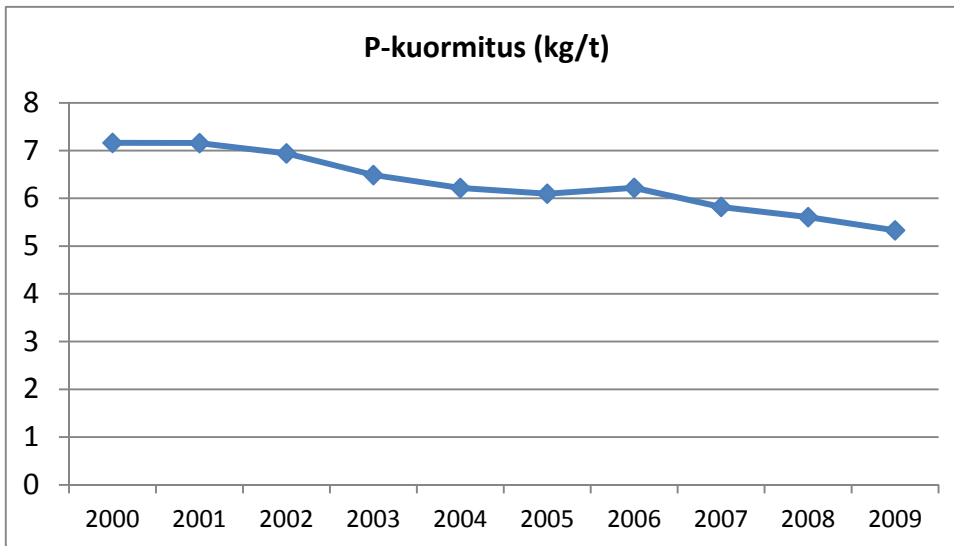
## 5.2 Rehevöityminen

Ravinnepäästöjen merkittävydestä kalankasvatuksen ympäristövaikutuksiin kiistellään ja niiden merkitys vaihtelee alueellisesti, mutta on esitetty, että vuonna 1999 ulosteet ja ylijäämärehu lohen kasvatuksesta olivat Norjan pääasialliset ravinnesuolojen lähteet ja olisivat vastuussa 56 prosentista kokonaispäästöistä Norjassa. Norjassa kalankasvattamot kuitenkin sijaitsevat paikoissa, joissa vedenvaihtuvuus on voimakasta, eikä ravinnepäästöjä siksi pidetä yhtä merkittävänä ongelmana kuin esimerkiksi Suomessa. (Ellingsen & Aanondsen 2006)

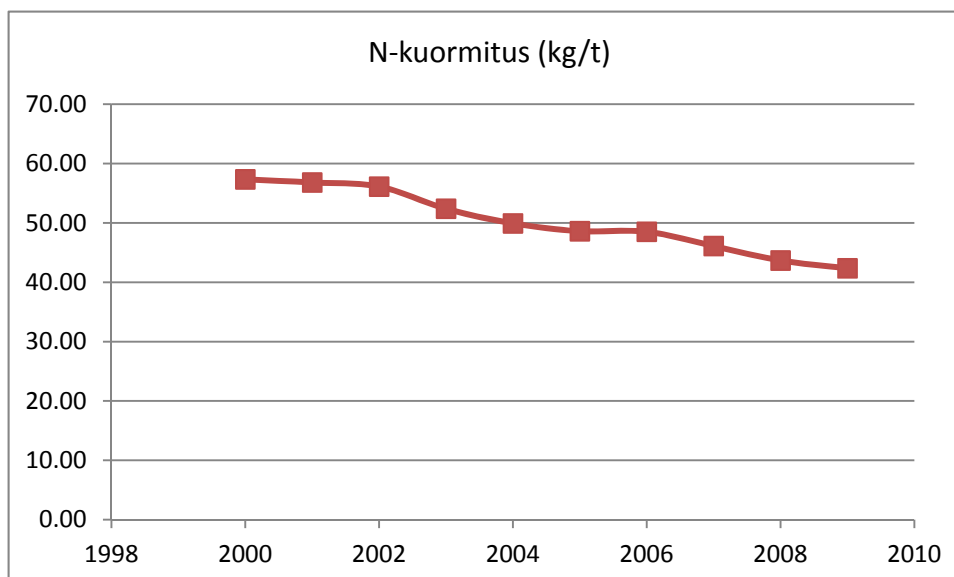
Pelletier ym. (2009) toteavat, että Chilessä (15 %) ja Kanadassa (20 %) kalarehussa käytettävä broilerista peräisin oleva materiaali (Chilessä 15 % rehusta, Kanadassa 20 %) nostaa rehevöittäviä päästöjä korkeiden fosforipitoisuuksien seurauksena. Euroopassa eläinperäisten sivutuotteiden käyttö pienempää ja esimerkiksi Suomessa niitä ei käytetä lainkaan kalanrehuissa.

Kalankasvatuslaitokset päästävät veteen ravinteita ja orgaanista ainetta syömättömän rehun ja ulosteiden muodossa, mikä voi aiheuttaa sedimenttien muutoksia verkkoaltaiden alapuolella ja vaikuttaa siten pohja-elistöön. Lisääntyneen ravinnepitoisuuden seurauksia voivat olla kasviplanktonin lisääntyminen, päällyskasvuston lisääntyminen ja hapenpuute. Vaikutukset riippuvat suuresti veden vaihtuvuudesta ja rannikon muodoista. (Nordvarg & Johansson 2002)

Seppälän ym. (2001) mukaan kalankasvatustoiminnan fosfori- ja typpipäästöjen kasvu pysähtyi 1990-luvulla ja kuormitukset ovat sen jälkeen alentuneet (Kallioniemi 2010, Kuvat 13 ja 14). Kuormitukset muodostuvat syömättä jääneestä rehusta ja kalojen ulosteista. Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämien virallisten kuormitustilastojen mukaan kalankasvatuksen aiheuttama valtakunnallinen ravinnekuormitus vuonna 1999 oli 944 tonnia typpeä, eli 58,1 kg tuotettua kalatonnia kohti, ja fosforipäästö vastaavasti 121 tonnia, eli 7,5 kg kalatonnia kohti, joka muodostuu syömättä jääneestä rehusta ja kalojen ulosteista, kun vuoden 2008 luvut olivat 431 tonnia typpeä (44 kg/kalatonni) ja 55 tonnia fosforia (5,6 kg/kalatonni).



Kuva 13. Kalankasvatuksen fosforipäästöt Suomessa vuosina 2000-2009 suhteessa kasvatettuun kalamäärään.



Kuva 14. Kalankasvatuksen typpipäästöt Suomessa vuosina 2000-2009 suhteessa kasvatettuun kalamäärään.

Silvenius ja Seppälä (2004) toteavat suomalaisen lohentuotannon ympäristövaikutuksissa ilmapäästöillä olevan vain pieni osuus kokonaispäästöistä ja merkittävimmät vaikutukset muodostavat typpi- ja fosforipäästöt vesistöihin. Norjalaisen kasvatetun lohien ja suomalaisen kasvatetun kirjolohien tuotannon päästöissä ei Suomessa markkinoilla olevia kalatuotteita koskevassa tutkimuksessa havaittu merkittäviä eroavaisuuksia, mutta

norjalainen lohi aiheuttaa vähemmän rehevöitymistä kuin suomalainen kirjolohi kasvatusolosuhteista johtuen. Silvenius ja Grönroos (2004) toteavatkin, että koko tuotejärjestelmää tarkasteltaessa alkutuotantovaiheen vesiä rehevöittäville päästöillä on Suomessa usean tuotteen kohdalla niin suuri vaikutus kokonaishaitan muodostumiseen, että sen rinnalla muut vaikutukset näyttäivät hyvin pieniltä.

### 5.3 Karkuun päässet yksilöt

On osoitettu, että kalankasvatuslaitoksilta karanneet lohet aiheuttavat negatiivisia vaikutuksia luonnonlohi-populaatioissa. Vaikutukset voivat olla sekä ekologista vuorovaikutusta että geneettisiä vaikutuksia lajien risteytymisen seurauksena. Kasvatetun ja luonnonlohen risteytymisestä voi tutkimusten mukaan seurata esimerkiksi alentunut elinikä, huonontunut fyysinen kunto ja vähentynyt poikastuotanto vähintään kahdessa seuraavassa sukupolvessa. (Thorstad ym. 2008)

Bostick ym. (2010) arvioivat, että Norjassa karkaa vuosittain 1,3 miljoonaa lohta kasvattamoista ja kolmannes rannikkojoissa kutevista lohista on alun perin karkuun päässeitä yksilöitä. Seppälän ym. (2001) mukaan Suomessa karkulaisongelmaa ei ole pidetty kovin vakavana ongelmana. Verkkokasseista karkuun päässeiden kirjolohien lisääntymistä luonnonolosuhteissa ei ole juurikaan todettu, joten kalankasvatus ei karkaamisien kautta ole uhka suomalaiselle kalakannalle suoranaisesti, eikä geneettisen perimän kautta.

### 5.4 Kemikaalit ja antibiootit

Kuparipohjaisilla limoittumisenesto- eli anti-fouling –aineilla pyritään estämään organismien kasvu verkkoaltaiden pinnoilla. Mikäli aineita ei käytettäisi, veden virtaus altaiden läpi heikentyisi ja liuennon hapen määrä altaassa vähenisi. Organismit myös vähentävät verkkojen kestävyyttä ja kelluvuutta. Toksisten aineiden liukenevuuteen altaan pinnoille levitetyistä limoittumisenesto-aineista vaikuttavat lämpötila, veden virtausnopeus ja altaan sijainti suhteessa muuhun ympäristöön. (Burrige ym. 2008)

Ellingsenin ja Aanonsenin (2006) mukaan arviolta 200 tonnia kuparia pääsee Norjan vesiin kalankasvattamoista vuosittain anti-fouling-aineiden takia. Tämä vastaa puolta grammaa kuparia jokaista lohikiloa kohti. Kalastetun turskan kohdalla luku on 0,1g kuparia turskakiloa kohti. Kuparin myrkyllisyys merivedessä riippuu muun muassa veden suolapitoisuudesta ja pH:sta. Kupari liukenee hyvin veteen ja kerääntyy helposti sedimentteihin (Burrige ym. 2008).

Orgaanisten tinayhdisteiden käyttö on kielletty vuoden 2003 alusta ja vanhat maalit (esim. kalastusalusten pohjista) on pitänyt poistaa tai maalata yli vuoden 2007 loppuun mennessä (RKTL 2008).

Wintherin ym. (2009) mukaan norjalaisissa kalastusaluksissa käytetyt kylmäaineet sisältävät R22:sta, ammoniakkaa ja hiilidioksidia, joista merkittävin ilmastonmuutosvaikutuksen kannalta on R22 (HCFC-22, 1810 kg CO<sub>2</sub>/kg). R22 aiheuttaa myös otsonikatoa. Sen käytöstä ollaan kuitenkin luopumassa, sillä sitä ei Norjassa saa tuoda maahan tai tuottaa vuodesta 2010 alkaen.

Sairaita kaloja lääkitään antibiooteilla. Jotkin yhdisteet ovat pysyviä sedimenteissä ja saattavat vaikuttaa pohjaeliöstöön kasvatuslaitosten läheisyydessä. Antibioottien vaikutuksia luonnoneläinkantoihin ei tiedetä, mutta huolena on antibioottiresistenttien bakteerikantojen muodostuminen ja leviäminen, sekä antibioottiresistenssin siirtyminen eläinten ja ihmisten patogeeneihin. Antibiootit ovat myös toksisia mikro-organismeille ja saattavat siksi aiheuttaa muutoksia vesiekosysteemeissä. (Burrige ym. 2008)

Myös lohitaiden karkottamiseen käytetään kemikaaleja, jotka ovat tappavia erityisesti selkärangattomille. Näiden aineiden käyttöä rajoitetaan kaikissa lohenkasvatusmaissa, mutta niiden vaikutuksia vesiekosysteemiin ei tunneta tarkkaan. Myöskään tuotannossa käytettävien desinfiointiaineiden käyttömääristä ei ole julkaistua tietoa, vaikka niitä saatetaan käyttää huomattaviakin määriä verkkojen, veneiden, säiliöiden ym. puhdistamiseen ja ne pääsevät usein suoraan kosketukseen ympäristön kanssa. (Burrige ym. 2008). Kotimaisen kirjolohien kasvatuksessa tätä ongelmaa ei ole.

Seppälän ym. (2001) mukaan kalankasvatuksessa käytettävien antibioottien ja rokotteiden ei tiedetä vaarantavan luonnonkalakantojen terveyttä Suomessa.

## 5.5 Jätteet ja sivutuotteet

Seppälän ym. (2001) mukaan pääasialliset kiinteät jätteet kalankasvatuksesta ovat perkausjätteet ja kuolleet kalat. Lisäksi rehusäkit sekä kalojen pakkauksiin käytettävät styrox-laatikot päätyvät lopulta jätteeksi. Kiinteitä jätteitä syntyy myös rehun ja sen raaka-aineiden tuotannosta.

Wintherin ym. (2009) mukaan kalatonnaa kohti syntyy 50 kg rehuksi menevää lohta (kuolleet yksilöt). Norjassa jopa 100 % lohenkasvatuksen sivutuotteista käytetään hyödyksi.

Körnerin ja Madsenin (2009) mukaan 49,5 % lohesta on sivutuotteita (pää, nahka, sisäelimet ym), joista iso päätyy turkiseläinten rehuksi, mutta myös mm. muiden kalalajien rehun ja teollisuuskemikaalien raaka-aineiksi. Niillä korvataan eläinperäistä rehua, ja niistä voidaan siksi laskea hyvitys. Seppälä ym. (2001) ovat arvioineet, että 35 % kirjolohen painosta on sivutuotteita ja jos otetaan fileoinnin sivutuotteet mukaan, päästään lähelle 50 % (Silvenius & Grönroos 2004)

Tanskassa kalankasvatuksen jätteet käytetään lannoitteena ja biokaasun tuotannossa kun taas kalojen sivutuotteet prosessoinnista päätyvät minkkien rehuksi. (Körner & Madsen 2009) Suomessa perkausjätteet käytetään pääasiassa turkiseläinten ravinnoksi. (Silvenius & Grönroos 2004), mutta jätteille on olemassa myös vaihtoehtoisia käyttökohteita. Esimerkiksi Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos etsii uudessa hankkeessaan kaupallisesti toimivia tapoja hyödyntää särkikaloja ruuaksi ja energiaksi. Suomenlahdella särkikaloista tuotetaan bioenergiaa. Saalis säilötään muurahaishapolla happosäilytyskonttiin, minkä jälkeen kalamassasta otetaan talteen rasva biodieselin valmistusta varten. Jäljelle jäävä kiintoaine käsitellään biokaasulaitoksessa. (Ruokatieto Yhdistys ry 2010) Vastaavanlaista hyödyntämistä voitaisiin ajatella myös kalankasvatuksen jätteiden ja sivutuotteiden kohdalla.

## 5.6 Vaikutukset luonnonvaraisiin eläimiin

Lohenkasvatusaltaat houkuttelevat kalaa syöviä petoja kuten hylkeitä, saukkoja, petolintuja, merimetsoja ja haikaroita. Lohessa olevien antibioottien vaikutuksia luonnonvaraisiin eläimiin ei tiedetä. Myöskään ei ole tarkkaan tiedossa, miten kalastajien käyttämät petojen karkotusmenetelmät vaikuttavat lohia saalistaviin eläimiin. Lohenkasvattajat voivat monissa maissa ampua esimerkiksi hylkeitä luvan kanssa. WWF:n mukaan on arvioitu, että Brittiläisessä Kolumbiassa Kanadassa lohenkasvattajat ampuvat vuosittain vähintään 500 hyljettä, vastaava luku Skotlannissa on 350, vaikka luonnonsuojelijoiden mukaan hylkeitä tapetaan arviolta 5000 yksilöä vuosittain. Muualla maailmassa lohenkasvatuksen tieltä tapettujen delfiinien, valaiden ja merileijonien määristä ei ole tarkkoja tietoja. Kalankasvattajat käyttävät myös verkkoja suojelemaan kalankasvatusaltaita. Luonnonvaraiset eläimet voivat sotkeentua verkkoihin ja hukkua. Myös ääntä hyväksikäyttäviä laitteita käytetään hylkeiden ja merileijonien karkottamiseen, ja joissain tapauksissa nämä laitteet ovat karkottaneet kasvattamojen lähialueilta myös pyöriäis- ja valaspopulaatioita. Minkään karkotusmenetelmän vaikutuksia lintuihin ja nisäkkäisiin ei tiedetä, mutta ne voivat olla merkittäviä etenkin alueilla, joilla lohenkasvatus on keskittynyttä. (Bostick ym.)

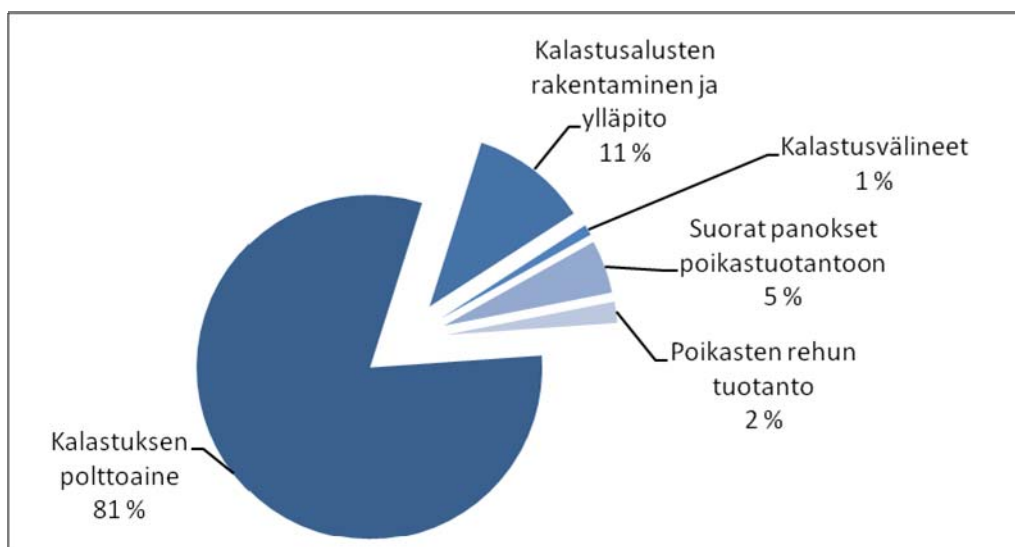
## 6 Kalastettu kala

Kalastukseen perustuvien ketjujen kohdalla dieselin ja kylmäaineiden kulutuksella on suurin vaikutus hiilijalanjälkeen, dieselin osuus 20-60 % ja kylmäaineiden 3-29 % kokonaishiilijalanjäljestä (Winther ym. 2009). Esimerkiksi Ellingsen ja Aanonsen (2006) ovat todenneet turskan ympäristövaikutusten muodostuvan pääosin kalastusvaiheesta.

Fossiilisten polttoaineiden kulutuksen lisäksi myös polttoaineiden, jään, laitteiden ja muiden tarvikkeiden hankkimisesta sekä kalastusalusten rakentamisesta ja ylläpidosta syntyy ympäristövaikutuksia. Polttoaineenkulutukseen vaikuttavat kohdekalalajin määrä ja ominaisuudet, aluksen ja moottorin koko, kalastuslaivueen koko ja sopivuus tarkoitukseen, matkojen pituudet ja käytössä oleva laitteisto. Kalastuskäytännöillä voidaan vaikuttaa merkittävästi kalastuksen energiankulutukseen ja syntyvien kasvihuonekaasujen määrään, sillä eri kalastusalusten polttoaineenkulutus saattaa vaihdella jopa 100 litrasta 2000 litraan per tonni kalaa. (Driscoll & Tyedmers 2009)

Winther ym. (2009) laskivat polttoaineen kulutuksen olevan 0,07 kiloa öljyä kiloa perkaamatonta kalaa kohti pintavesikalojen kalastuksessa tanskalaisella nuotalla (Danish seine) ja ulappatruolilla (pelagic trawl). Pintavesistä kalastavilla laitoksilla (pelagic fisheries) havaittiin olevan selvästi pienempi ilmastovaikutus kuin syvemmältä kalastavilla laitoksilla (demersal fisheries). Ne käyttävät vähemmän polttoainetta ja päästävät vähemmän kylmäaineita per kilo saalista. Kasvatetun lohien ja kalastettujen syvänveden kalojen (seiti, kolja, turska) hiilijalanjälki on yhtä suuri (single-metric results for seafood products).

Tyedmersin (2000) mukaan tonni kalastettua lohta vaati 22,300-41,200 MJ energiaa lajista riippuen. Sillin kalastuksen polttoaineenkulutus kurenuotalla kalastettaessa oli vuonna 1991 160 litraa (5,766 MJ) tuhatta kiloa silliä kohti ja vuonna 1994 115 litraa (4,144 MJ). 69-84 % energiankulutuksesta tulee polttoaineen käytöstä kalastusaluksilla ja 11-17 % kalastusaluksien rakentamisesta ja kunnossapidosta (kuviot 13). Pelletierin (2006) mukaan kalastukseen perustuvien tuotteiden elinkaaren aikaiset vaikutukset voivat vaihdella suurestikin, sillä sekä polttoaineen kulutuksessa, käytetyssä energiamuodossa ja polttoaineissa että kalajauhon ja -öljyn saannoissa on eroja tuotantolaitosten välillä.



Kuvio 13. Kalastetun lohikilon tuottamiseen tarvittavan energian jakautuminen (kokonaisenergiankulutus 35 200 MJ fossiilista polttoaine-ekvivalenttia). (Tyedmers 2000)

Silvenius ja Grönroos (2004) ovat poimineet Lillsunden (2001) silakan kalastuksen elinkaariarviointia koskevasta tutkimuksesta tietoja kalastuksen polttoaineenkulutuksesta Suomen merialueilla. Tutkimuksen mukaan useimmat kalastajat käyttävät merikalastuksessa aluksissaan kevyttä polttoöljyä. Sen kulutus vaihteli vuodenajan mukaan, keskimääräisen kulutuksen ollessa 112 l/kalatonni (joulu-helmikuussa 125 l/kalatonni ja touko-elokuussa 85 l/kalatonni). Kirjallisen tiedonannon (Pålsson 2002) mukaan Islannissa polttoaineen kulutus on 337,5 l/kalatonni koskien seitin kalastusta (Silvenius & Grönroos 2004).

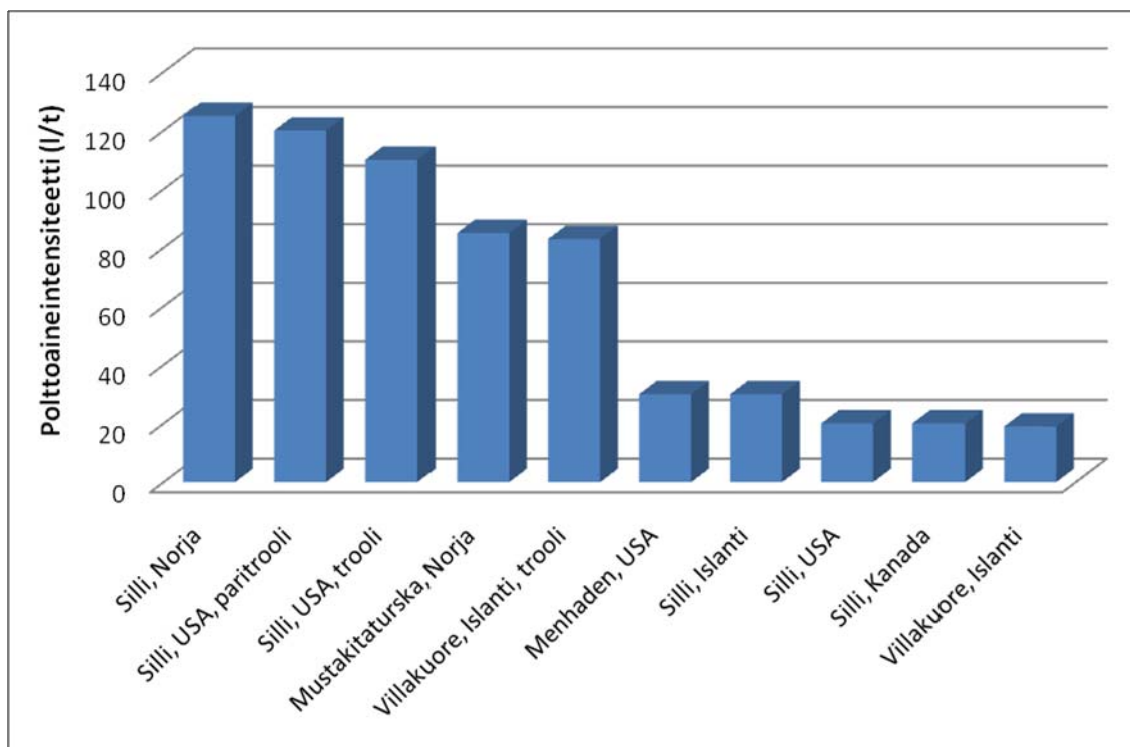
Tyedmersin ym. (2005) arvion mukaan kalastukseen käytetty energiamäärä (polttoaine) on 12,5 kertaa suurempi kuin saaliiksi saadusta kalasta saatavan proteiinin sisältämä energiamäärä. Arviot maailmanlaajuisen kalastuksen polttoaineenkulutuksesta ovat alakanttiin arvioituja, sillä ne eivät ota huomioon makean veden kalastusta, eivätkä laitonta, raportoimatonta ja säätelemätöntä kalastusta.

Thranen (2004) mukaan passiiviset ja ns. puoliaktiiviset kalastustavat kuten tanskalainen nuotta, kurenuotta, pystyverkko ja pitkäsiima edustavat huomattavaa parannuspotentiaalia trooliin verrattuna, sillä on osoitettu, että kalastuksen energiankulutusta voidaan vähentää esimerkiksi kampelan kalastuksessa (Factor 15) korvaamalla trooli tanskalaisella nuotalla. Erilaisten kalastusmuotojen polttoaineenkulutusta on esitetty taulukoissa 19 ja 20 sekä kuviossa 14.



Taulukko 19. Saalis, maalle tuotu saalis, hylky ja polttoaineen kulutus sillin kalastuksessa USA:ssa, yhteenveto havainnoista vuosilta 1995, 1999, 2000, 2001 ja 2003-2006. (Driscoll & Tyedmers 2009).

	Kurenuotta	Keskiveden troolaus	Paritroolaus (yksi alus)
Kalastuskerrat	84	96	184
Kokonaissaalis (t)	7 014	8 408	13 296
Maalle tuotu saalis (t)	6 884	8 210	12 668
Atlantin silli	6 882	7 842	12 600
Atlantin makrilli	2	308	32
Harmaasilli	0	36	16
Mereen heitetty (t)	130	198	627
Atlantin silli	121	116	337
Muut lajit	9	83	291
Piikkihai	8	50	43
Kolja	0	9	3
Atlantin makrilli	0	5	3
Polttoaineen kulutus (l)	143 800	850 352	1 481 545



Kuvio 14. Pienten pelagisten kalojen kalastuksen polttoaineintensiteetti (l/t). Tiedot kurenuotta käyttävistä kalastamoista jos ei toisin mainita. (Driscoll & Tyedmers 2009)

Taulukko 20. Eräiden kalastusmuotojen polttoainekertoimet, litraa per maalle tuotu kalakilo. (Winther ym. 2009)

Kalastusväline	Polttoaineen kulutus (l/kg)	Keskihajonta	Vaihtelukerroin *
Pitkäsiima	0,15	0,069	0,5
Muut siimat	0,31	0,12	0,4
Pohjatrooli	0,43	0,24	0,6
Uistelusiima	0,14	0,14	1,0
Pintasiima	0,1	0,051	0,5
Pintatrooli	0,098	0,12	1,2
Paripintatrooli	0,093	0,022	0,2
Pilkki	0,15	0,19	1,3
Pystyverkko	0,15	0,18	1,2
Kurenuotta	0,089	0,03	0,3
Tanskalainen nuotta	0,12	0,2	1,7
Pystyverkko, määrittelemätön	0,25	0,26	1,0
Nuotta, määrittelemätön	0,083	0,16	1,9

Kalastuksesta aiheutuu polttoaineen kulutuksen lisäksi ympäristövaikutuksia mm. hylkykalan (discards) muodossa. Läheskään kaikkea saaliiksi saatua kalaa ei tuoda maihin vaan useimmiten heitetään takaisin mereen. Vuosittainen hylkykalan (kalastusaluksesta poistettu, ei-haluttu kala) määrä Pohjanmerellä on arvioitu olevan 800 000-950 000 tonnia, mikä vastaa kolmasosaa maalle tuodusta saaliista ja kymmenesosaa arvioidusta Pohjanmeren biomassasta. (Catchpole ym. 2005)

Tanskalaisen syvänveden kaloja Pohjanmereltä kalastavan kalastuslaivaston hylätyn kalan määrän on arvioitu olevan 25 % saaliista. (Nordic Council of Ministers, 2000a p. 91, Thrane)

Kalastuksen yhteydessä tulisi arvioida myös vaikutukset pohjaan ja pohjaeläisiin. Joidenkin tutkijoiden mukaan pohjatroolauksen vaikutus ekosysteemiin saattaa olla samanlainen kuin avohakkuilla sademetsän ekosysteemiin. (Ellingsen & Aanondsen 2006)

Tyedmersin (2000) mukaan kalastuksen ympäristövaikutuksia vähennettäisiin parhaiten vähentämällä kalastusalusten käyttämän polttoaineen määrää suhteessa saaliiseen. Lisäksi kylmäaineiden korvaamisella otsoni- ja ilmastoneutraaleilla aineilla voitaisiin vaikuttaa valtavasti etenkin syvänveden kalastuksen hiilijalanjälkeen, jota olisi mahdollista pienentää jopa 30 % (Winther ym. 2009).

## 7 Lähteet

- Ayer N. & Tyedmers P. 2009. Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada. *Journal of Cleaner Production* 17: 362–373.
- Bellona 2009. Saatavissa <http://www.bellona.org/bellona.org/aquaculture> > Feed resources
- Bostick, K., Clay, J. & McNevin, A.. Farm-level Issues in Aquaculture Certification: Salmon. WWF 2010. Saatavissa <http://www.worldwildlife.org/what/globalmarkets/aquaculture/dialogues-salmon.html>
- Burrige, L., Weis, J., Cabello, F. & Pizarro, J. 2008. Chemical use in salmon aquaculture: a review of current practices ad possible environmental effects.
- Catchpole, T., Frida, C. & Gray, T. 2005. Discards in North Sea fisheries: causes, consequences and solutions. *Marine Policy* 29: 421–430.
- d’Orbcastel, E., Blancheton, J.-P. & Aubin, J. 2009. Towards environmentally sustainable aquaculture: comparison between two trout farming systems using Life Cycle Assessment. *Aquacultural Engineering* 40: 113–119.
- Driscoll, J. & Tyedmers, P. 2010. Fuel use and greenhouse gas emission implications of fisheries management: the case of the new england atlantic herring fishery. *Marine Policy* 34: 353–359.
- Eagle, J., Naylor, R. & Smith, W. 2003. Why farm salmon outcompete fishery salmon. *Marine Policy*. Saatavissa: <http://pangea.stanford.edu/research/Oceans/GES205/fish.pdf>
- Ellingsen, H. & Aanonsen S. 2006. Environmental Impacts of Wild Caught Cod and Farmed Salmon – A Comparison with Chicken. SINTEF Fisheries and Aquaculture, Norway. *International Journal of LCA* 1: 60-65.
- Ellingsen, H., Olaussen, J. & Utne, I. 2009. Environmental analysis of the Norwegian fishery and aquaculture industry — A preliminary study focusing on farmed salmon. *Marine Policy* 33: 479-488.
- FIN 2010. Fishmeal Information Network
- FAO 2006. Newsroom 4 September 2006
- Hartikainen, H. 2011. Allokointimenettelyt elintarvikkeiden elinkaariarvioinneissa. Helsingin yliopisto, Taloustieteen laitos, Ympäristöekonomia, Pro gradu –tutkielma, Marraskuu 2011
- Jackson, A. 2012. IFFO Internatioal Fishmeal and Fishoil Organisation. <http://www.iffonet.net/downloads/100.pdf> 15.3.2012
- Körner, O. & Madsen, B. 2009. Global Warming Potential of Smoked Trout Filet. AgroTech A/S, Institute for Agro Technology and Food Innovation, Århus.
- Nordvarg, L. & Johansson, T. 2002. The effects of fish farm effluents on the water quality in the Åland archipelago, Baltic Sea. *Aquacultural Engineering* 25: 253–279.
- Olsen, L., Holmer, M. & Olsen, Y. 2008. Perspectives of nutrient emission from fish aquaculture in coastal waters - Literature review with evaluated state of knowledge. Final report, February 2008.
- Pelletier, N. 2006. Life cycle measures of biophysical sustainability in feed production for conventional and organic salmon aquaculture in the northeast Pacific. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Environmental Studies. Dalhousie University.
- Pelletier, N. & Tyedmers, P. 2007. Feeding farmed salmon: Is organic better? *Aquaculture* 272: 399–416. Saatavissa: [http://sres.management.dal.ca/Files/Tyedmers/Tyedmers\\_Feeding.pdf](http://sres.management.dal.ca/Files/Tyedmers/Tyedmers_Feeding.pdf)
- Pelletier, N., Tyedmers, P., Sonelsson, U., Scholz, A., Ziegler, F., Flysjo, A., Kruse, S., Cancino, B. & Silverman, H. 2009. Not All Salmon Are Created Equal: Life Cycle Assessment (LCA) of Global Salmon Farming Systems. *Environmental Science & Technology* 2009 43: 8730–8736.
- Rees, W. (1996) Revisiting carrying capacity: Area-based indicators of sustainability. *Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies*, 17(3), 195-215.
- RKTL 2008. Organotinayhdisteet. Saatavissa: [http://www.rktl.fi/kala/elinymparistot/haitalliset\\_aineet\\_vesiympariston/organotinayhdisteet.html](http://www.rktl.fi/kala/elinymparistot/haitalliset_aineet_vesiympariston/organotinayhdisteet.html)
- Ruokatieto Yhdistys ry 2010. Rannikon särkikaloista kehitellään pihviä ja bioenergiaa. Saatavissa: [http://uutiset.ruokatieto.fi/WebRoot/1043198/X\\_Uutistenhallinta.aspx?id=1169662](http://uutiset.ruokatieto.fi/WebRoot/1043198/X_Uutistenhallinta.aspx?id=1169662)

- Seppälä, J., Silvenius, F., Grönroos, J., Mäkinen, T., Silvo, K. & Storhammar, E. 2001. Kirjolohen tuotanto ja ympäristö. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.
- Silvenius, F. & Grönroos, J. 2003. Fish farming and the environment. Results of inventory analysis Suomen ympäristö 276. 72 s.
- Silvenius, F. & Grönroos, J. 2004. Suomen kalatuotteiden elinkaariarviointi. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.
- Silvenius, F. & Seppälä, J. 2004. Eutrophication in seafood LCAs, teoksessa: Mattsson & Ziegler (toim.), Environmental Assessment of Seafood Products through LCA - Final report of a Nordic Network project.
- Svanes, E., Vold, M & Hanssen, O., J. 2011. Effect of different allocation methods on LCA results of products from wild-caught fish and on the use of such results. *Int J Life Cycle Assess* (2011) 16:512–521.
- Tacon A. 2005. State of information on salmon aquaculture and the environment. <http://www.worldwildlife.org/cgi/dialogues/salmon.cfm> (accessed 10/2005).
- Tacon, A. & 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.
- Thorstad, E., Fleming, I., McGinnity, P., Soto, D., Wennevik, V. & Whoriskey, F. 2008. Incidence and impacts of escaped farmed Atlantic salmon *Salmo salar* in nature. Report from the Technical Working Group on Escapes of Salmon Aquaculture Dialogue.
- Thrane, M. 2004. Environmental impacts from Danish fish products - Hot spots and environmental policies. Aalborg University.
- Torstensen, B., Espe, M., Sanden, M., Stubhaug, I., Waagbø, R., Hemre, G.-I., Fontanillas, R., Nordgarden, U., Hevrøy, E., Olsvik, P. & Berntssen, M. 2008. Novel production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) protein based on combined replacement of fish meal and fish oil with plant meal and vegetable oil blends. *Aquaculture* 285: 193–200.
- Tyedmers, P. 2000. Salmon and sustainability: The biophysical cost of producing salmon through the commercial salmon fishery and the intensive salmon culture industry. University of British Columbia. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/2429/13201>
- Tyedmers, P., Pelletier, N. , Ayer, N. 2007. Biophysical Sustainability and Approaches to Marine Aquaculture Development Policy in the United States, A report to the marine aquaculture task force.
- Tyedmers, P., Watson, R. & Pauly, D. 2005. Fueling Global Fishing Fleets. *Ambio* 34, No. 8.
- Winther, U., Ziegler, F., Hognes, E., Emanuelsson, A., Sund, V. & Ellingsen, H. 2009. Carbon footprint and energy use of norwegian seafood products. SINTEF Fisheries and Aquaculture, Norway. Saatavissa: [http://www.sintef.no/upload/Fiskeri\\_og\\_havbruk/Internasjonalt\\_R%C3%A5dgivning/2009\\_Carbon%20footprint%20of%20seafood%20products.pdf](http://www.sintef.no/upload/Fiskeri_og_havbruk/Internasjonalt_R%C3%A5dgivning/2009_Carbon%20footprint%20of%20seafood%20products.pdf)

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

# MTT RAPORTTI<sub>42</sub>

[www.mtt.fi/julkaisut](http://www.mtt.fi/julkaisut)

MTT Raportti -verkkojulkaisusarjassa julkaistaan maatalous- ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

Puh. (03) 4188 2327, sähköposti [julkaisut@mtt.fi](mailto:julkaisut@mtt.fi)

