

Kirjolohen kasvatuksen ympäristövaikutukset

Frans Silvenius, Timo Mäkinen, Juha Grönroos, Sirpa Kurppa,
Raija Tahvonen, Markus Kankainen, Jouni Vielma, Kirsi Silvennoinen,
Jari Setälä, Salla Kaustell ja Hanna Hartikainen



**Kirjoloheen
ympäristövaikutukset
Suomessa**

**Frans Silvenius, Timo Mäkinen, Juha Grönroos, Sirpa
Kurppa, Raija Tahvonen, Markus Kankainen, Jouni
Vielma, Kirsi Silvennoinen, Jari Setälä, Salla Kaustell &
Hanna Hartikainen**

ISBN: 978-952-487-371-0 (Painettu julkaisu)

ISBN: 978-952-487-372-7 (Verkkajulkaisu)

ISSN 1798-6419

<http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti48.pdf>

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Frans Silvenius, Timo Mäkinen, Juha Grönroos, Sirpa Kurppa, Raija Tahvonnen, Markus Kankainen, Jouni Vielma, Kirsi Silvennoinen, Jari Setälä, Salla Kaustell & Hanna Hartikainen

Julkaisija ja kustantaja: MTT, 31600 Jokioinen

Julkaisuvuosi: 2012

Kannen kuva: Tapio Tuomela/MTT:n kuva-arkisto

Frans Silvenius¹, Juha Grönroos², Hanna Hartikainen¹, Helena Hyvärinen³, Markus Kankainen⁴, Salla Kaustell³, Sirpa Kurppa², Timo Mäkinen⁴, Jari Setälä², Kirsi Silvennoinen¹, Raija Tahvonon³ & Jouni Vielma⁴

¹ MTT, BEL, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

² Suomen ympäristökeskus, Mechelininkatu 32a, PL 140, 00251 Helsinki

³ MTT, BEL, Alimentum, Myllytie 1, 31600 Jokioinen

⁴ Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Viikinkaari 4, PL2, 00791 Helsinki

Tiivistelmä

Suomessa kasvatetun kirjoloheen pääasialliset ympäristövaikutukset tutkittiin Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen ja Suomen ympäristökeskuksen tekemässä yhteistyöhankkeessa vuosina 2010-2012. Tutkimus toteutettiin elinkaariarviointimenetelmällä, ja tutkitut kvantitatiivisesti lasketut ympäristövaikutusluokat olivat rehevöityminen, ilmastonmuutos ja happamoituminen, alailmakehän otsonin muodostumisen vaikutus kasvillisuuteen ja primaarienergian kulutus.

Tutkimustarve tiedostettiin, koska tiedettiin, että kotimaisen kalankasvatuksen rehevöittävien kuormitukset ovat nyt pienemmät kuin aikaisemmin aiheesta tehdyissä julkaisuissa (Seppälä ym. 2001, Silvenius & Grönroos 2003) johtuen rehun käyttömäärien pienentymisestä suhteessa kasvatettuun kalamäärään sekä rehujen kehityksestä. Rehevöittävien vaikutusten osalta suomalaisen kalankasvatuksen tiedettiin myös saavuttaneet sille asetetut tavoitteet Itämereen päätyvän ravinnekuormituksen vähentämiseksi. Tutkimuksen tavoitteisiin kuului erilaisten menetelmien vertailu, joilla on mahdollista pienentää kirjoloheen kasvatuksen ympäristövaikutuksia. Tutkimuksen tavoitteena oli myös suorittaa vertailuja muihin elintarviketuotteisiin siten, että tuotteiden erilainen ravintosisältö huomioidaan, mukaan lukien myös kirjoloheen arvokkaat omega3-rasvahapot. Lisäksi tutkittiin erilaisten laskentamenetelmien kusten allokoitapojen vaikutusta lopputulokseen.

Järjestelmänrajauksiin sisältyi alkutuotannon panostuotanto, raaka-aineiden viljely- sekä kalastusprosessi, rehun ja sen raaka-aineiden valmistusprosessit, poikaslaitoksen toiminnot, kasvatustoiminnot, erilaisten raaka-aineiden sekä rehun kuljetukset, pakkausten valmistuksen sekä kalan fileointi. Kalan fileointi otettiin mukaan rajauksiin, koska näin pystyttiin tekemään paremmin vertailuja muihin elintarviketuotteisiin vertailuperusteina eläinten ihmisravinnoksi kelpaava osa. Vertailtavien lihatuotteiden rajaukset tehtiin yhteneväiseksi kirjoloheen kanssa siten, että myös ne sisälsivät lihatuotteiden osalta alkutuotantoon liittyvän panostuotannon, alkutuotannon, rehun prosessoinnin, eläinten kasvattamisen tilalla ja teurastamon. Vertailuissa luonnonkalatuotteisiin mukaan luettiin kalastuksen polttoaineen kulutus, jäähdytys, perkaus ja fileointi ja kalan kuljetuksissa käytettyjen styrox-laatikoiden tuotanto. Rajausten ulkopuolelle jätettiin kaupan toiminnot, kuten energiankulutus ja tuotehävikki, kuluttajapakkausten tuotanto sekä kuluttajien toiminnot, kuten ruoan valmistus, säilytys, tuotehävikki ja ostosmatkat.

Kirjolahifileen hiilijalanjäljeksi laskettiin 1000 kiloa lopputuotetta kohden 4314 kg CO₂-ekv, rehevöittäviksi päästöiksi 38,3 PO₄-ekv, happamoittaviksi päästöiksi 5,3 AE-ekv ja alailmakehän otsonipitoisuuteen vaikuttaviksi päästöiksi 12,9 * 1000 m² * ppm * h. Primaarienergian kulutus oli 60711 MJ.

Kymmenen vuoden takaiseen tutkimukseen verrattuna havaittiin useita eroavaisuuksia ja niiden perusteella kirjoloheen kasvatuksen ympäristövaikutukset ovat pienemmät kuin seitsemän vuotta sitten (vuonna 2002). Muutokset johtuivat lähinnä rehukertoimesta (rehun kulutus kasvatettuun kalamäärään nähden), joka oli pienentynyt 10 % aikavälillä 2002-2009 johtuen sekä rehujen, että ruokintatekniikan kehittymisestä. Joka oli pienentynyt 10 % aikavälillä 2002-2009 johtuen sekä rehujen, että ruokintatekniikan kehittymisestä. Myös rehureseptit olivat muuttuneet enemmän kasviproteiinia sisältäviksi korvaten kalajauhoa. Huomattavin kirjolahifileen tuotantoketjun ominaiskuormitusten muutos oli se, että rehevöittävät päästöt olivat vähentyneet vuosina 2002-2009 26 % johtuen rehukertoimen pienentymisestä ja muutoksista rehuresepteissä. Kalankasvatuksen ominaiskuormituksen ja tuotantomäärän pienentymisen johdosta kalankasvatuksen osuus Suomen ravinnekuormituksesta oli vuonna 2008 Lounais-Suomen aluehallintaviraston mukaan fosforin osalta enää 2 % ja typpikuormituksen osalta noin 0,9 %. Todelliset muutokset kotimaisen kirjoloheen elinkaareissa arvioitiin seuraaviksi: Hiilijalanjälki oli pienentynyt 9 %, happamoittavat päästöt 15 % ja alailmakehän otsoniin vaikuttavat päästöt 7,5 %. Primaarienergian kulutus on uusien tutkimustulosten mukaan vähentynyt 5 %.

Vertailuissa vaihtoehtoiisiin elintarviketuotteisiin vertailuperusteena käytettiin tuotteiden massaa sekä niiden sisältämää proteiinia ja energiapitoisuutta. Vertailussa kirjolohen hiilijalanjälki oli lihatuotteita pienempi ja naudanlihan hiilijalanjälki osoittautui noin kolmin-seitsemänkertaiseksi kirjolohifileeseen nähden. Massavertailussa sian- ja broilerinlihan tuotantoketjun kasvihuonekaasupäästöt olivat vähimmillään samaa suuruusluokkaa kuin kirjolohella ja enimmillään sianlihalle 2,5- ja broilerille noin 1,5-kertaiset kirjolohifileeseen nähden.

Tämän tutkimuksen laskelmissa kirjolohifileen tuotantoketjun rehevöittävät päästöt olivat kaksin-seitsemänkertaiset naudanlihan tuotantoketjuun, 2,5-seitsemänkertaiset sianlihan tuotantoketjuun ja vähimmillään viisin ja enimmillään yli kymmenkertaiset broilerinlihan tuotantoketjuun verrattuna.

Luonnonkalasta havaittiin, että kalastuksen polttoaineen kulutuksen lisäksi myös tuotteen kuljetukset jatkokäsittelyyn, kuten fileointiin voi olla merkittävä kasvihuonekaasujen ja happamoittavien päästöjen lähde. Vertailussa käytetyllä arviolla kalastuksen ja kuljetusten polttoaineen kulutuksissa saatiin luonnonkalalle (hauki, siika, kuha ja ahven) tulokseksi pienempi hiilijalanjälki kuin kasvatetulle kirjolohelle, mutta loppupäätelmänä oli myös se, että tulos voi muuttua paljonkin riippuen saaliseristä, kuljetuserien koosta ja kuljetusmatkoista. Rehevöittäviä päästöjä luonnonkalafileen tuotannosta ei juuri muodostu vaan päinvastoin kalastuksessa poistuu vedestä ravinteita.

Menetelmistä vähentää kirjolohen kasvatuksen ravinnekuormituksia todettiin, että avomerikasvatuksen hiilijalanjälki on hieman pienempi kuin kalankasvatuksen sisempänä rannikolla. Ero syntyy osittain polttoaineen kulutuksesta venematkoilla ja osin siitä, että verkkoallasta kohden voidaan kasvattaa enemmän kalaa, jolloin rakenteiden määrä suhteessa kasvatettuun kalamäärään pienenee, vaikka avomerellä tarvitaankin tukevampia rakenteita kuin sisempänä. Avomerikasvatuksessa rehevöittävät päästöt laimenevat laajemmalle alueelle, mutta toisaalta pistemäinen kuormitus on suuresta laitoskoosta johtuen suuri. Kiertovesikasvatus vähensi ravinnekuormituksia noin 32 %, mutta tästä on todettava, että laitoksen jätevedet voi olla mahdollista johtaa puhdistamoihin, jolloin rehevöittävät päästöt pienenevät vielä siitä. Hiilijalanjälki on kiertovesilaitoksella noin kaksi kertaa suurempi kuin tavallisessa kasvatuksessa, Uusiutuvan energianlähteen käyttäminen, kuten esim. hukkalämmön käyttäminen voi toisaalta pienentää kasvatus toiminnan osuuden lähelle nollaa ja kokonaishiilijalanjäljen näin lähelle verkkoallaskasvatusta. Fytaasipohjaisen vähäfosforisen kalanrehun rehevöittävät päästöt pienensivät niukasti rehevöittäviä kuormituksia johtuen siitä, että tässä tutkimuksessa käytetyn menetelmän fosforin käyttökelpoisuusaste leville on matalampi kuin typen. On kuitenkin huomioitava, että ympäristörehuvaihtoehdolla kirjolohifileen elinkaaren fosforipäästöt vähenevät noin 16 %, millä on merkitystä paikallisessa mittakaavassa alueilla, jossa fosfori on levien kasvun minimitekijänä. Hiilijalanjäljessä fytaasipohjaisella ja keskimääräisellä rehulla ei ollut merkittävää eroa.

Avainsanat:

kalankasvatus, kirjolohi, ympäristövaikutukset, elinkaariarviointi, kalat

The environmental impacts of rainbow trout produced in Finland

Frans Silvenius¹, Juha Grönroos², Hanna Hartikainen¹, Helena Hyvärinen³, Markus Kankainen⁴, Salla Kaustell³, Sirpa Kurppa², Timo Mäkinen⁴, Jari Setälä², Kirsi Silvennoinen¹, Raija Tahvonen³ & Jouni Vielma⁴

¹ MTT Agrifood Research Finland, BEL, Latokartanonkaari 9, 00790 FI-Helsinki

² Finnish Environment Institute SYKE Mechelininkatu 32a, PL 140, FI-00251 Helsinki

³ MTT Agrifood Research Finland, BEL, Alimentum, Myllytie 1, FI-31600 Jokioinen

⁴ Finnish Game and Fisheries Research Institute, Viikinkaari 4, PL2, FI-00791 Helsinki

The requirement for the study was identified as it was known that the eutrophication impact had been reduced due to a lower feed conversion factor and improvement of feed quality since the previous publications of the issue (Silvenius & Grönroos 2003, Seppälä et al. 2001). It was also known that Finnish fish farming had succeeded in its aim to reduce nutrient loading into water systems. The total eutrophication impact of fish farming in 2008 was 2 % of the total phosphorus emissions of Finland and 0.9 % of nitrogen emissions in Finland. The study included a comparison of different production methods which can contribute to the reduction of environmental impacts of fish farming. One part of the study made comparisons with other food products by taking into account the different nutritional properties of the products such as the valuable omega3-fattyacids in rainbow trout. The effects of different allocation methods on the results were then compared.

The production chain components which were included in the study were fertilizer and lime inputs to primary production, functions of agriculture and fishing, production of fish meal, fish oil and soya products, feed production, hatchery, fish farming, transportation, the production chain of polystyrene boxes and feed sacks and fish filleting. The filleting was included because it enables the comparison of cultivated rainbow trout with other meat products. The system boundaries of the other food products were made identical to those of rainbow trout, so they also contained lime and fertilizer inputs, primary production, feed production, farming and slaughtering and transports. When comparisons were made to captured fish the consumption of fuel used in fishing and transportation to processing, refrigeration, filleting and the production chain of the polystyrene boxes were included in the system boundaries. Trade and retail, consumer functions and product packaging were excluded from the study.

The climate change impact of one ton of rainbow trout fillet was 4314 kgCO₂-eq/t, eutrophication impact was 38,3 PO₄-eq/t, acidification impact was 5,3 AE-eq/t and the impact of tropospheric ozone formation was 12,9 *1000 m² * ppm * h/1000kg. The primary energy use was 60711 MJ/t.

Many changes were observed to have occurred in the processes and environmental impacts of rainbow trout cultivation in Finland were found to be lower than seven years. The main reason for the changes in environmental impacts of the production chain of rainbow trout fillet was that feed conversion factor, which describes the feed consumption in relation to the produced amount of fish, decreased 10 % in 2002-2009, because feeds and feed technology have been developed. Also there have been changes in feed recipes: there is now more plant protein in feed, which replaces fish meal. The most important development was that the eutrophication impact of the rainbow trout production chain was reduced by 26 % in 2002-2009 due to the improvement of feeds and feeding technologies. Primary energy use declined by 10 %. The real changes in carbon footprint, acidification and tropospheric ozone formation were that carbon footprint had declined by 9 %, acidification impacts by 15% and impacts on tropospheric ozone formation by 7.5 %.

The comparisons between rainbow trout and meat products were made using different functional units: mass, protein and energy. The carbon footprint of rainbow trout was lower than carbon footprint of meat products. The carbon footprint of beef was from three to seven times higher than that of rainbow trout in relation to the mass of the product. At the lowest point the carbon footprints of chicken and pork the carbon footprint were the same as that of rainbow trout, but at the highest level they were 2,5 times higher for pork and 1,5 times higher for chicken compared to the carbon footprint of rainbow trout.

The eutrophication impact of the rainbow trout production chain was from two to seven times higher than the impact of beef production and from two and half to seven times higher than the impact on pork production. Even more remarkably it was five to over ten times higher than the eutrophication impact of chicken production.

One of the main conclusions of the climate impacts and acidification impact of wild fish was that in some cases the transportation to filleting can be a significant source of emissions in addition to the fuel consumption in the fishing stage. The climate and acidification impact was lower for pike, whitefish, pikeperch and perch than for rainbow trout, but the conclusion was that the results can vary greatly depending on catch volumes, batch sizes of transported fish and transport distances. Nutrient emissions to the water systems rarely occur in fishing; on the contrary, fishing significantly reduces the amount of nutrients in the water systems.

The carbon footprint of open sea cultivation was found to be slightly lower than that of conventional cultivation. This is accounted for by smaller amounts of fuel being consumed by boats, and also the quantity of fish cultivated in one net cage is bigger than in a conventional net cage. The higher amount of fish per net cage compensates for the heavier infrastructure. Also, the nutrient loading is diluted more effectively in open sea farming, but the point loading is higher because of bigger production units. The recirculating farming reduces the eutrophication impacts by 32 %, but if it is possible to conduct the effluents to waste water treatment plants, the reduction of the nutrients will be greater. The carbon footprint of a recirculating farming is twice as high as that of conventional fish farming, but this can be reduced to almost zero by using renewable energy sources such as the use of waste heat. The phytase-based low phosphorus feed impacts were not much lower than impacts of average Finnish feed when the whole production chain was studied. That is, because in average feed there is remarkable amounts of low phosphorus feed in use and because the effect factor for algae growth is higher for nitrogen than for phosphorus. There is a noteworthy decline of 16 % in phosphorus emissions, which must have an effect on areas where phosphorus is the minimum factor for algae growth. The carbon footprint was almost the same for low phosphorus feed and conventional feed.

Keywords:

fish farming, rainbow trout, environmental impacts, life cycle assesment, fish

Kirjoloheen kasvatuksen elinkaariarvioinnin päivittäminen

Suomen ympäristökeskus, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, ja Suomen Kalankasvattajaliitto tekivät 1999-2001 elinkaariarvioinnin koskien Suomessa tuotettua kirjolohta. Tutkimuksessa tehtiin suuruusluokkatason vertailuita suomalaisesta kirjolohesta norjalaiseen kasvatettuun loheen, Suomessa kalastettuun silakkaan sekä Suomessa tuotettuun sian- ja naudanlihaan. Lisäksi tehtiin laskelmia erilaisille menetelmille, joilla kalankasvatuksen ympäristökuormituksia voitaisiin hallita.

Edellisen tutkimuksen suorittamisen jälkeen kuluneen kymmenen vuoden aikana kalankasvatuksen ravinnekuormitukset ovat pienentyneet huomattavasti. Lisäksi elintarvikkeiden vertailtavuuden osalta sian- ja naudanlihan sekä broilerin tuotannosta on tehty lisää elinkaariarviointeja ja toisaalta monet lähtötiedot ovat tarkentuneet myös kirjoloheen kasvatuksen elinkaariarvioinnin tekoon vaadittavien laskelmien osalta. Näihin seikkoihin perustuen Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos ja Suomen ympäristökeskus päättivät selvittää ja päivittää kirjoloheen elinkaaren ympäristövaikutukset. Rahoitus hankkeelle saatiin Maa- ja metsätalousministeriöstä.

Hankkeen suorittamisesta vastasi tutkimusryhmä, johon kuuluivat Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksesta DI Frans Silvenius (hankkeen vastuullinen johtaja ja päätutkija), tutkimusprofessori Sirpa Kurppa, tutkimusprofessori Raija Tahvonen, tutkijat Helena Hyvärinen ja Kirsi Silvennoinen ja Hanna Hartikainen, Suomen ympäristökeskuksesta erikoistutkija MMM Juha Grönroos ja Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitokselta FT Timo Mäkinen, Markus Kankainen, Jari Setälä ja Jouni Vielma. FM Hanna Hartikainen teki osana opinnäytetyötään tähän projektiin liittyen tarkastelun kirjoloheen kasvatusprosessin erilaisten allokointimenetelmien vaikutuksista lopputulokseen ja tutkimusharjoittelija Salla Kaustell teki projektiin liittyen kirjallisuuskatsauksen kasvatettujen lohikalojen ympäristövaikutustutkimuksista.

Hanketta varten perustettiin ohjausryhmä, jonka puheenjohtajana oli DI Frans Silvenius ja jäseninä toimitusjohtaja Mikko Poskiparta 29.11.2011 asti, jonka jälkeen Anu Toivonen, molemmat Suomen Kalankasvattajaliitto ry:stä, biologi Yrjö Lankinen Savon Taimen Oy:stä, Olof Lerche ja Aki Finer Raisioagro Oy:stä, Henrik Arvonen Biomar Oy:stä, Timo Halonen Maa- ja metsätalousministeriöstä ja ympäristöneuvos Hannu Kokko Etelä-Suomen Aluehallintovirastosta. Ohjausryhmän sihteerinä toimi FM Kirsi Silvennoinen.

Sisällys

1	Johdanto.....	9
1.1	Kalankasvatus suomessa.....	9
1.2	Tutkimuksen tausta ja tavoitteet.....	9
2	Aineisto ja menetelmät.....	10
2.1	Tutkitut ympäristövaikutusluokat.....	10
2.2	Toiminnalliset yksiköt.....	11
2.3	Tuotantoketjujen rajaukset.....	11
2.4	Mallinnus ja tiedon keruu.....	12
2.4.1	Mallintamisen lähtökohdat.....	12
2.4.2	Lähtötietojen alkuperä ja tuotantovaiheiden kuvaus.....	12
2.4.3	Allokoinnit.....	19
3	Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	20
3.1	Kirjoloihen ympäristövaikutukset.....	20
3.1.1	Ilmastovaikutus.....	20
3.1.2	Rehevöitymisvaikutus.....	20
3.1.3	Happamoittavat päästöt.....	21
3.1.4	Alailmakehän otsoni.....	21
3.1.5	Primaarienergia.....	21
3.1.6	Muut ympäristövaikutukset.....	22
3.2	Vertailu aikaisempaan selvitykseen.....	23
3.3	Erialaisten allokointiratkaisuiden vaikutus tuloksiin.....	25
3.4	Kirjoloihen kasvatuksen aiheuttamien ympäristöhaittojen vähentäminen eri kasvatustapojen avulla.....	28
3.5	Nettokuormitustyökalu.....	30
3.6	Kirjoloihen ympäristövaikutukset verrattuna muihin proteiinin lähteisiin.....	30
3.7	Kirjoloihen vaikutukset ruokavaliossa liittyen suomalaisten terveyteen ja hyvinvointiin verrattuna muihin elintarviketuotteisiin.....	32
3.8	Vertailua muihin tutkimuksiin.....	34
4	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	36
5	Lähdeluettelo.....	38
6	Liitteet.....	41

1 Johdanto

1.1 Kalankasvatus suomessa

Suomessa kasvatettiin vuonna 2009 12,7 miljoonaa kilogrammaa kirjolohta, kun koko ruokakalantuotannon määrä oli Suomessa vuonna 2009 13,6 miljoonaa kilogrammaa (Vesiviljely 2009), mutta vuonna 2010 kirjolohen tuotanto oli pienentynyt 11 miljoonaan kilogrammaan. (Vesiviljely 2010). Kalan tuotantomäärät ovat siis pienentyneet: vuoden 1999 tuotantomäärä oli 15,3 miljoonaa kilogrammaa (SVT 2000). Kirjolohi on edelleen pysynyt ylivoimaisesti tärkeimpänä Suomessa kasvatettava ruokakalana. Vuonna 2010 ruokakalan tuotanto oli pienentynyt 11,8 miljoonaan kilogrammaan. (Vesiviljely 2010). Siikaa kasvatettiin vuonna 2009 0,7 miljoonaa kilogrammaa, kuten myös vuonna 2010. Suomen ruokakalan kokonaistuotannosta tapahtui 80 % merialueilla vuonna 2009, kuten myös vuonna 1999.

Toiminnassa olleita kalanviljely-yrityksiä oli vuonna 2009 Suomessa 362 kappaletta, joista ruokakalayrityksiä 104 käsittäen yhteensä 187 tuotantolaitosta. Ruokakalaa tuottavia tuotantolaitoksia oli vuonna 1998 yhteensä 281 (Kalanviljely 1998). Yritysten keskimääräinen tilastollinen tuotantomäärä kasvoi aikavälillä 1998-2009 noin 35 %.

1.2 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Tutkimuksen taustana oli päivitystarve vuosina 1999-2001 tehdyille elinkaariarvioinnille koskien Suomessa tuotettua kirjolohta (*Oncorhynchus mykiss*) (Seppälä ym. 2001). Päivitystarve huomattiin Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksessa vuosina 2007-2009 tehdyssä laajassa tutkimuksessa, jossa kartoitettiin erilaisten lounaslautasten elinkaarisia ympäristövaikutuksia (Saarinen ym. 2011). Vanhassa tutkimuksessa tehtiin osittain karkeiksi jääneitä vertailuita suomalaisesta kirjolohesta norjalaiseen kasvatettuun loheen (*Salmo salar*), Suomessa kalastettuun silakkaan (*Clupea harengus membras*) sekä Suomessa tuotettuun sian- ja naudanlihaan. Nyt uusien tutkimustietojen valossa arvioitiin, että laskelmia sekä kirjolohen kasvatuksesta että vertailtavista tuotteista pystyttäisiin suorittamaan luotettavammalla tavalla kuin vanhassa tutkimuksessa. Lisäksi tiedettiin, että kirjolohen kasvatuksen rehevöittävät kuormitukset olivat pienentyneet tällä aikavälillä huomattavasti. Kotimaassa kasvatetun kirjolohen osalta pääasiallinen muutos ennakoitiin olevan rehun kulutuksen pienemisessä tuotantokiloa kohden sekä rehun tuotelaadun muutoksissa siten, että kalankasvatuksen ominaiskuormitus on pienentynyt. Tutkimukseen saatiinkin kerättyä tarkempaa aineistoa kirjolohen omasta tuotantoketjusta sekä esimerkiksi vertailua varten lihantuotannon hiilijalanjäljestä ja rehevöittävästä päästöistä maailmalla ja tutkimustietoa soijan ja härkähäpävän tuotannon ympäristövaikutuksista.

Vanhassa tutkimuksessa (Seppälä ym. 2001) käsiteltiin seikkaperäisesti erilaisia menetelmiä kirjolohen kasvatuksen ravinnekuormitusten pienentämiseksi ja useat niistä todettiin tuolloin kustannuksiltaan kannattamattomiksi silloisilla kirjolohen tuottajahinnoilla. Tässä tutkimuksessa tehtiin laskelmia kalankasvatuksen ravinne- ja ilmastopäästöjen vähentämiseksi vähäfosforisen soijaa ja fytaasia sisältävän rehun käytöllä (vähäfosforinen rehu) sekä kiertovesi- ja avomerikasvatuksella. Lisäksi tutkittiin erilaisia ravinnepäästöjen kompensatiomenetelmiä, joita olivat Itämeren silakan käyttö kalaöljyn ja kalajauhon raaka-aineena (Itämerirehu) sekä vähempiarvoisen kalan kalastaminen kalankasvatuksen ravinnepäästöjä kompensoitaessa. Huomattava viimeaikainen kehitys on ollut dioksiinin poistossa, minkä johdosta Itämeren silakkaa pystytään nykyään käyttämään kalajauhon ja -öljyn raaka-aineena toisin kuin vielä edellisen tutkimuksen tekemisen aikoihin. Lähimmät kalajauhotehtaat sijaitsevat Tanskassa.

Tuotevertailun päivittäminen vuoden 2001 tutkimukseen katsottiin tärkeäksi uusimman tutkimustiedon päivittymisen myötä. Ulkomaisena kalatuotteena vertailussa päätettiin säilyttää Norjassa verkkoaltaissa kasvatettu lohi. Vuonna 1999 Norjassa kasvatettua lohta tuotiin Suomeen 6,7 tuhatta tonnia, kun vuoden 2009 tuontimäärä oli kasvanut 22 tuhanteen tonniin (Kalan ulkomaankauppa 2009). Luonnonkalavertailuna käytettiin vuonna 2001 Suomessa kalastettua silakkaa, mutta tässä tutkimuksessa käytettiin haukea (*Esox lucius*), siikaa (*Coregonus lavaretus*), kuhaa (*Sander lucioperca*) ja ahventa (*Perca fluviatilis*) johtuen siitä, että kyseisten kalalajien kulutus fileekalana on vertailukelpoinen kirjolohen kulutukseen nähden (Vihervuori 2011). Silakan kalastus perustuu suurempiin saaliisiin troolaamalla tai nuottapyynnillä, kun taas suurempien kalalajien saaliit muodostuu pienemmistä yksittäisistä saaliista rysillä ja verkoilla.

Vanhassa tutkimuksessa tehdyt vertailut sian- ja naudanlihaan päivitettiin myös. Tässä käytettiin useita maailmalla tehtyjä tutkimuksia erilaisista lihatuotteista. Tuotteita vertailtiin sekä suhteessa sadan gramman annoksiin että ravitsemuksellisten tekijöiden suhteen. Eviran antamissa kalan käyttösuosituksissa mainitaan, että kalaa on hyvä syödä ainakin kaksi kertaa viikossa ja että kalan kulutusta tulee lisätä. Kala sisältää terveellisiä rasvahappoja, useita vitamiineja ja kivennäisaineita sekä paljon proteiinia. Kala on erityisen hyvä n-3 rasvahappojen ja D-vitamiinin lähde. Kalan hyödyllisten rasvahappojen on osoitettu vähentävän sydän- ja verisuonitautiriskiä (Evira 2011a).

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Tutkitut ympäristövaikutusluokat

Tutkimuksessa selvitettiin kasvatetun kirjolohen ja siihen vertailtavien elintarviketuotteiden tuotannosta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt (hiilijalanjälki) sekä rehevöittävät ja happamoittavat päästöt ja vaikutukset alailmakehän otsoniin sekä primaarienergian kulutus. Näissä vaikutusluokissa huomioitiin taulukossa 1 esitetyt päästöt. Taulukossa 1 on esitetty myös karakterisointikertoimet, joiden avulla kyseiset päästöt saatiin muunnettua yhteismitallisiksi kussakin vaikutusluokassa. Karakterisointikerroin kuvaa sitä, kuinka suuri vaikutus kyseisellä yhdisteellä on verrattuna ekvivalenttisyhdisteeseen. Rehevöittämissä päästöissä on myös huomioitu päästöjen vaikutus- ja kulkeutumiskertoimet, joita käyttämällä pystytään laskemaan leville käyttökelpoisen ravinnekannan määrä. Suomalaisen kalankasvatuksen osalta rehevöittävät päästöt mallinnettiin käyttämällä suomalaisiin olosuhteisiin sopivia kulkeutumis- ja vaikutuskertoimia (Taulukko 2). Samoja kertoimia käytettiin myös brasilialaisen soijan viljelyn rehevöittävien päästöjen mallintamiseen. Eri ympäristövaikutusluokkia ei arvioitu suhteessa toisiinsa, vaan ympäristövaikutustarkastelun tulokset esitettiin erikseen kunkin ympäristövaikutusluokan osalta. Lisäksi arvioitiin kvalitatiivisesti kalankasvatuksessa käytettävien antibioottien määrä sekä ekotoksikologisenä tekijänä verkkokasseissa käytetyn antifouling-materiaalin ympäristövaikutukset.

Taulukko 1: Tutkimuksessa käytetyt karakterisointikertoimet. *Characterisation factors used in the study.*

	Karakterisointikerroin Characterisation factor	Lähde Source
Ilmastonmuutos Climate change	kg CO ₂ -ekv/kg 1	Solomon ym. 2007
CO ₂	25	
CH ₄	298	
N ₂ O		
Rehevöityminen Eutrophication	kg PO ₄₃ -ekv/kg 0,04	Seppälä ym. 2004
NH ₃ ilmaan, to air	0,015	
NO _x ilmaan, to air	0,42	
N, tot	3,06	
P, tot		
Happamoituminen Acidification	kg AE-ekv/kg 0,463	Seppälä 2006
SO ₂	0,535	
NH ₃	0,186	
NO _x		
Alailmakehän otsoni Tropospheric ozone formation	1000 m ² * ppm * h/kg 0,33	Hauschild ym. 2004
CH ₄	0,27	
NM ₁₀	0,35	
NO _x		

Taulukko 2: Tutkimuksessa käytetyt rehevöittävien päästöjen kulkeutumis- ja vaikutuskertoimet (Seppälä ym. 2004). *Transport and effect factors for characterisation factors of aquatic eutrophication used in the impact assessment model*

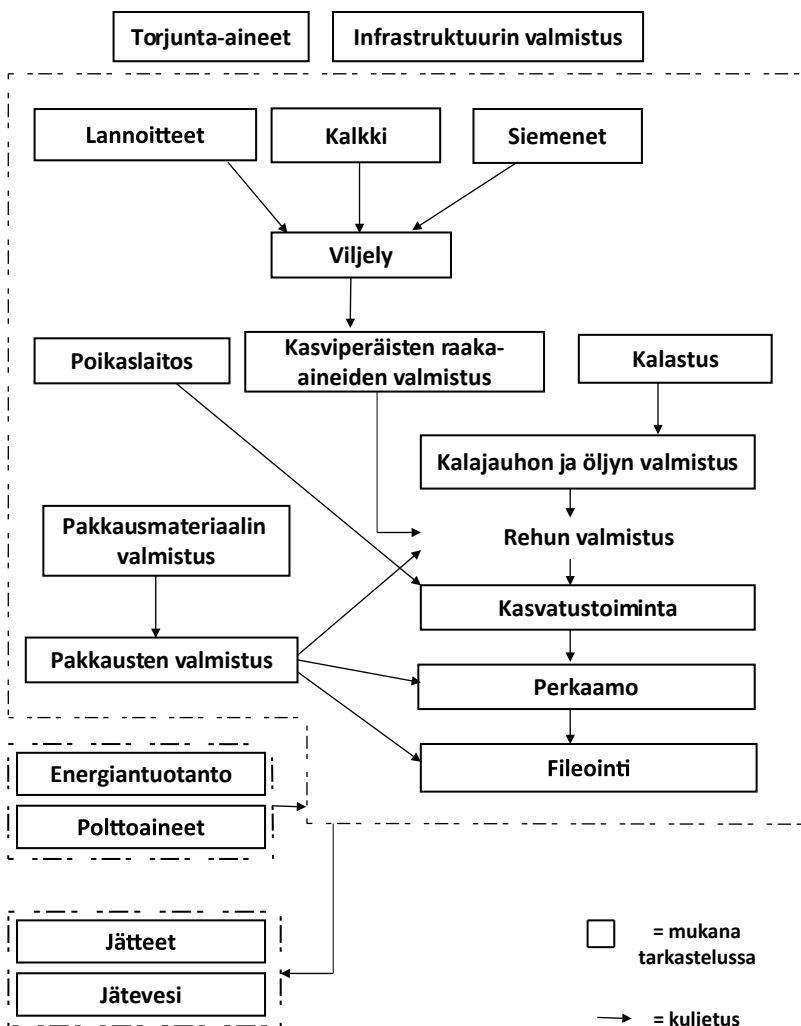
	Kulkeutumiskerroin Transport factor		Vaikutuskerroin Effect factor	
	N	P	N	P
Kalankasvatus keskimäärin Fish farming on average	0,92	1,0	0,9	0,36
Kalankasvatus merialueilla Fish farming at sea	1,0	1,0	0,9	0,36
Kalankasvatus sisävesialueilla Fish farming in Finnish lakes	0,55	1,0	0,9	0,36
Liha- ja kasvistuotteet Meat and crop products	0,75	1,0	0,7	0,4

2.2 Toiminnalliset yksiköt

Peruslaskelmat ympäristövaikutuksista laskettiin yhtä tonnia nahatonta kasvatettua kirjolohifileetä kohti. Vertailussa muualla tehtyihin tutkimuksiin vertailuyksikkö oli yksi tonni perkaamatonta lohikalaa. Vertailussa muihin elintarviketuotteisiin käytettiin kohdalla toiminnallisena yksikkönä sataa grammaa lopputuotetta, tai lihamäärää, joka vastaa yhtä kilojoulea energiaa tai yhtä grammaa proteiineja.

2.3 Tuotantoketjujen rajaukset

Tuotejärjestelmän rajauksiin sisältyivät kaikki oleelliset kasvatetun kirjolohen tuotejärjestelmän toiminnot alkaen rehun tuotantoketjuun kuuluvien alkutuotannon panostuotannosta ja edelleen rehun tuotantoprosessista päätyen kalan fileointiin. Tuotejärjestelmän rajaukset pyrittiin saamaan yhteneväisiksi edellisen tutkimuksen kanssa (Sepälä ym. 2001), joten tutkimukseen ei sisällytetty kaupan toimintoja, kuten energiankulutuksia tai tuotehävikkiä, kuluttajapakkausten tuotantoa ja kuluttajien toimintoja, kuten ruoan valmistusta, säilytystä, tuotehävikkiä tai ostosmatkoja (Kuva 1). Kalan fileointi otettiin mukaan rajauksiin, koska näin pystyttiin tekemään vertailuja muihin elintarviketuotteisiin vertailuperusteena eläinten ihmisravinnoksi kelpaava osa. Vertailtavien lihatuotteiden rajaukset tehtiin yhteneväiseksi kirjolohen kanssa siten, että myös ne sisälsivät alkutuotantoon liittyvän panostuotannon, alkutuotannon, rehun prosessoinnin, eläinten kasvattamisen tilalla ja teurastamon, kun taas luonnonkalatuotteiden rajauksiin kuului kalastuksen polttoaineen kulutus, jäähdytys, perkaus ja fileointi ja kalan kuljetuksissa käytettyjen styrox-laatikoiden tuotanto. Kasvatetun kalan tuotejärjestelmästä arvioitiin verkkoallarakenteiden merkitystä. Rakenteiden oletettiin kestävän 20 vuotta. Maatalouskoneiden ja maatilojen muiden rakenteiden sekä tehtaiden ja teiden rakentamista ja ylläpitoa ei huomioitu tutkimuksessa.



Kuva 1. Kirjolohifileen tuotejärjestelmän rajaukset. *Product system boundaries of rainbow trout fillet.*

2.4 Mallinnus ja tiedon keruu

2.4.1 Mallintamisen lähtökohdat

Ympäristövaikutusten arviointi tehtiin elinkaariarviointimenetelmällä (Life Cycle Assessment, LCA). Elinkaariarvioinnissa noudatettiin siitä annettuja standardeja ISO 14040 ja ISO 14044 sekä tehtiin herkkyystarkasteluja perustuen olemassa oleville muille laskentasäännöille (ILCD-käsikirja, GHG-protokolla, PCR-ohjeet kalantuotannolle). Lisäksi laskettiin muita allokointiskenaarioita, jotka on esitetty kappaleessa 3.2. Peruslaskelma tehtiin ”Attributional”- eli haitanjako-lähestymistavalla, jossa kohdennetaan ja allokoidaan panoksia ja tuotoksia eri tuotteille. Ympäristövaikutusten laskenta tehtiin KCL-eco-laskentaohjelmalla.

2.4.2 Lähtötietojen alkuperä ja tuotantovaiheiden kuvaus

Maatalouden panostuotanto

Lannoitteiden tuotannosta käytettiin Yara Oy:ltä saatuja tietoja yrityksen todellisista lannoitteiden valmistusprosesseista Uudenkaupungin tuotantolaitoksella vuonna 2010 (Bertrupp, 2010). Rajaukset kattoivat lannoitteiden koko tuotantoketjun. Kalkin osalta tiedonlähteenä olivat Nordkalk Oy:ltä saadut tiedot vuodelta 2008, jotka käsittivät tiedot kalkin louhinnasta, prosessoinnista ja kuljetuksista (Welin, 2008).

Rehun kasviperäisten raaka-aineiden viljely

Vehnän ja rypsin viljelyn tiedot perustuivat Pro Agrialta saatuihin tietoihin vehnän ja rypsin viljelyn keskimääräisestä satotasosta ja lannoitteiden käytöstä Suomessa vuosilta 2004-2006. Vehnän satotaso oli 3800 kg/ha ja rypsin 1420 kg/ha. Vehnän osalta aineisto käsitti 11487 lohkoa ja 57633 ha ja rypsin osalta 3097 lohkoa ja 14613 ha. Viljelyprosessin vaiheista huomioitiin polttoaineiden kulutus seuraavissa tuotantovaiheissa: kylvömuokkaus, kylvö, lannoitteiden levitys, kasvinsuojeluaineiden levitys, kalkitus ja tasausäestys. Kasvinsuojeluaineiden valmistus ja kuljetukset jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle. Päästötietojen mallinnus on esitetty taulukossa 3. Lannoitteiden kuljetusmatkaksi oletettiin 300 km ja kalkin 200 km.

Taulukko 3: Viljelytoimenpiteiden tiedonlähteet. *Data sources of crop cultivation*

Viljelytoimenpide tai päästö Function or emission	Tietolähde Data source
Viljelyn konetyö Cultivation practices	Pro Agria, MTT:n asiantuntija-arvio (expert opinion of MTT), Grisso ym. (2007)
Työkoneiden moottoripäästöt Emissions from diesel engines	TYKO-malli (TYKO-model) (Mäkelä 2008), Neste Oil
Polttoaineiden tuotannon päästöt Emissions of fuel production chain	Neste Oil
N ₂ O-päästöt, N ₂ O emissions	IPCC (2006)
Ravinnehuuhtoumat Nutrient leaching	MTT:n ja SYKE:n mallit perustuen valuma-alue tutkimusten havaintoaineistoihin (Models of MTT and Syke)
Fosforihuuhtouman laskennan lähtötiedot Input data for phosphorus leaching calculations	ProAgria, SYKE (Grönroos & Puustinen, asiantuntija-arvio) (Expert opinions)
Väkilannoitteiden NH ₃ -päästöt NH ₃ -emissions from fertilizers	(Bertrupp 2010)
Karjanlannan NH ₃ -päästöt NH ₃ -emissions from manure	(Umwelts Bundesamt, Berlin) (Döhler ym. 2002)
Viljan kuivauksen CO ₂ -päästöt CO ₂ - emissions from crop drying	Tilastokeskus 2007
Viljan siirtokuljetukset Transports of crops inside farms	(Juostas & Janulevičius 2008).
Varastointi Storing	MTT:n asiantuntija-arviot (MTT expert opinions)
Soijan viljely Soy cultivation	Jungbluth ym. (2007), Da Silva ym.(2010)

Soijatuotteiden osalta soijan viljelyn tiedot olivat haasteellisia mallintaa. Verrattuna kymmenen vuoden takaiseen tilanteeseen elinkaaritietojen laatu soijanviljelyssä on tarkentunut ja maankäytön muutoksia on alettu huomioida laskettaessa soijan viljelyn kasvihuonekaasupäästöjä. Rehusoija on pääasiassa brasilialaista alkuperää, ja siellä viljelysmaata raivataan osittain primäärisademetsistä. Yhtenä lähteenä soijanviljelyn päästömallintamiseen käytettiin Ecoinvent-tietokannan tietoja (Jungbluth ym. 2007), mutta lisäksi käytettiin myös lähdettä Da Silva ym. (2010). Lisäksi rehun raaka-aineena käytettiin pieniä määriä maissia, jonka tiedot saatiin Ecoinvent-tietokannasta (Jungbluth ym. 2007).

Kalastus

Raisioagron kalajuhon ja -öljyn toimittajilta saatiin primaaritietoa raaka-aineiksi käytetyistä kalalajeista. Näihin tietoihin perustuen arvioitiin keskimääräinen polttoaineenkulutus käyttäen lähdettä Winther ym. 2009, jossa oli esitelty polttoaineenkulutustietoja eri kalalajien kalastuksesta. Arvioitaessa kalajauhon ja -öljyn raaka-aineen kalastuksen polttoaineenkulutuksia on huomioitava, että kalastusta tapahtuu ympäri maailman, joten tämän tutkimuksen keskimääräisen teollisuuskalan pyyntiin perustuva arvio arvioitiin kuvaavan paremmin todellista tilannetta. Tällä perusteella käytettiin LCA Food (2011) -tietokannan tietoja keskimääräisestä teollisuuskäyttöön päätyvän kalan kalastuksesta. Tutkimuksessa tehtiin myös herkkyysanalyysiä laskemalla hiilijalanjälki polttoaineenkulutuksilla 30 l/t (Seppälä ym. 2001) ja 100 l/t, joka vastaa puolestaan kalajauhon ja -öljyn raaka-aineenkalastuksen polttoaineenkulutusta mm. lähteen Tyedmers (2004) mukaan (Taulukko 4).

Tiedot luonnonkalatuotteista ja tutkimuksessa tehtyyn arvioon vähempiarvoisten kalalajien kalastuksesta saatiin RKTL:ltä. Vähempiarvoisen kalan kalastuksen polttoaineenkulutus arvioitiin vastaavan suomalaista keskimääräistä polttoaineenkulutusta kalastettuun kalamäärään nähden koskien verkko-koukku- ja rysäpyyntiä. Luonnonkalan kalastuksen polttoaineenkulutus saatiin RKTL:n hylkeensietoaineistosta. Itämeren silakan kalastuksen polttoaineenkulutuksessa käytettiin RKTL:n tilastoja suomalaisen keskimääräisen troolauksen polttoaineenkulutuksesta (Taulukko 4).

Taulukko 4: Kalastuksen polttoaineenkulutustietoja. *Fuel consumption values for fishing*

Kalaraaka-aine Fish	Polttoaineen kulutus, l/t, Fuel consumption	Lähde, Data source
Kalajauhon ja öljyn raaka-aineet Raw materials of fish meal and fish oil	66	LCAFood (2011), teollisuuskala, industrial fish
Silakka, Baltic Herring	55	RKTL:n tilastot troolikalastuksen polttoaineenkulutuksesta, Statistics of RKTL of fuel consumption of trawling
Vähempiarvoinen kala, Low valued fish	186	RKTL:n tilastot rysä/pitkäsima/verkkopyynnistä, Statistics of RKTL of trap net, long line and gill net
Luonnonkala (suomukala) Scaled fish	296	RKTL:n hylkeensietoaineisto Statistics of RKTL

Rehun raaka-aineiden prosessointi

Kalajauhon ja -öljyn prosessointitiedot saatiin Raisioagro Oy:n tanskalaiselta toimittajalta ja niitä vertailtiin vanhan tutkimuksen tietoihin sekä kirjallisuustietoihin. Energian kulutus tuoteyksikköä kohti oli kalajauhon ja -öljyn osalta pienempi kuin vanhassa tutkimuksessa. Tiedot sisälsivät energiankulutustiedot, raaka-aineiden tarpeen, prosessin suorat ilmapäästöt ja veden kulutustiedot, jätevesimäärät ja kiinteät jätteet sekä kalaraaka-aineen käytön kalalajeittain. Kalajauhon saanti oletettiin olevan 21,5 % kalaraaka-aineen määrästä ja kalaöljyn 6 % perustuen erään valmistajan antamin taustatietoihin. Rypsiöljyn ja rypsirouheen prosessointitiedot saatiin Raisioagro Oy:ltä koskien rypsiöljyn ja rypsirouheen saantoprosentteja sekä sähkö- ja lämpöenergian kulutusta.

Soijapapujen prosessoinnista käytettiin Ecoinvent-tietokannan tietoja Brasiliasta (Jungbluth ym. 2007). Prosessissa soijarouhe ja soijaöljy erotetaan toisistaan heksaanilla. Soijaproteiinin valmistuksesta ei saatu tarkempia tietoja, joten toiminnan energiaintensiivisyys oletettiin samaksi kuin soijarouheen ja -öljyn erottamisen. Näin meneteltiin myös edellisessä tutkimuksessa. Proteiinin erotuksessa uutokemikaalina toimii etanoli. Rypsiöljyn prosessointitiedot saatiin Raisioagro Oy:ltä

Rehun valmistusprosessi ja koostumus

Rehun valmistusprosessista saatiin tuotantoketjukohtaisia tietoja kahdelta Suomessa rehua myyvän yrityksen valmistajalta vuodelta 2009 ja rehun koostumustietoina käytettiin kyseisten valmistajien keskiarvoja. Tiedot koskivat prosessin suoria vesi- ja ilmapäästöjä, energiankulutusta, tarkkoja reseptejä, raaka-aineiden kuljetusmatkoja ja rehun kuljetusmatkoja. Rehun raaka-aineista 30 % oli kalajauhoa, 22,5 % kalaöljyä, 13 % soijaproteiinia, 13 % vehnä jauhoa, 9 % rypsiöljyä, 5 % muita soijatuotteita ja 5 % maissia. Verrattuna kymmenen vuoden takaiseen tilanteeseen soijaproteiinin osuus oli noussut 5 prosenttiyksiköllä ja kalaperäisen raaka-aineen osuus vähentynyt 12 prosenttiyksiköllä. Vuoden 2009 jälkeen kalajauhon osuus on edelleen vähentynyt ja sen sisältämää proteiinia on kompensoitu mm. härkäpavulla. Vuoden 2011 kalajauhopeniteisuus olikin jo 25 % ja fish in fish out -suhde on nyt suomalaisessa kalankasvatuksessa lähes 1:1 (Lerche 2012a). Trendi on ollut jo pitkään laskeva, sillä vuonna 1999 edellisen tutkimuksen aikoihin kalajauhon osuus oli 38 % ja kalaöljyn 27 %. Syynä tähän on mm. kalaperäisten raaka-aineiden hinnan nousu.



Kuva 2. Kalanrehusäkit. Kuva Raisioagro Oy

Ympäristörehuskenaariona käytettiin tilannetta, jossa kalajauhon määrää pienennetään entisestään ja rehuun lisätään fytaasientsyymiä. Skenaarion tiedot perustuvat RKTL:n kokeeseen Rymättylän kalantutkimusasemalla vuonna 2008 (Vielma ym. 2008; luottamuksellinen raportti rehun valmistajalle).

Poikaslaitos

Poikaslaitoksen osalta tietoja saatiin Taimen Oy:ltä (Puttonen 2011), jonka lisäksi osa tiedoista perustui asiantuntijalausuntoihin (Lankinen 2011). Poikasten keskikoko oletettiin olevan 50 g. Mallinnus perustui pääasiassa Taimen Oy:n Joutsan kalanviljelylaitoksen tietoihin, jossa tuotettiin 40-80 gramman painoisia kirjolohen poikasia. Aineisto käsitti sähköenergiankulutus- sekä ravinnekuormitustiedot.

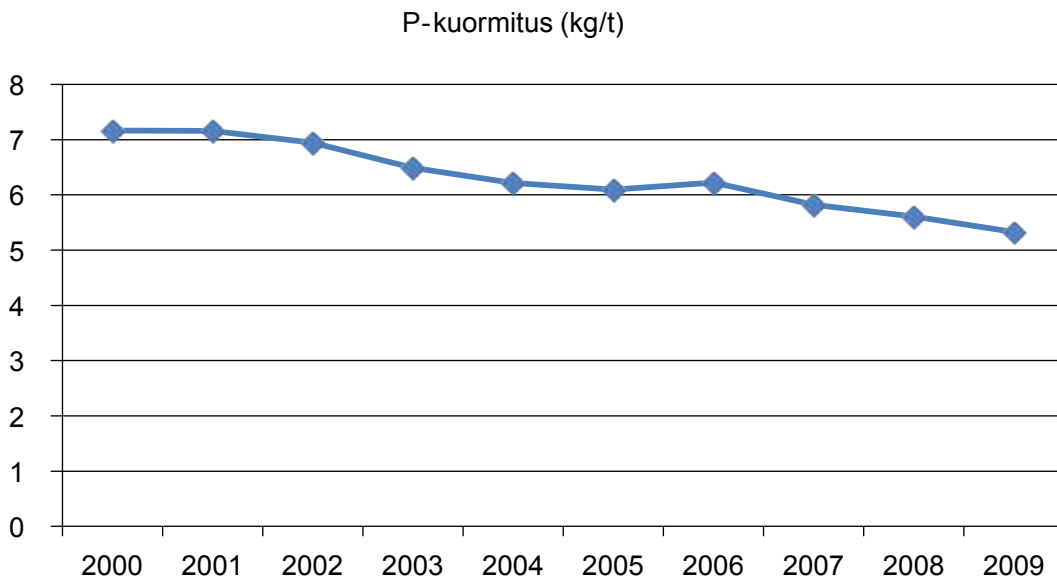
Kasvatustoiminta

Arviot kasvatustoimintaan liittyvästä polttoaineen- ja sähköenergiankulutuksesta perustuvat Uudessakaupungissa kasvatettavan kalan tuotantoon (Kankainen ym. 2007). Polttoainekulutustiedot sisälsivät ruokinta- ja huoltoneilymatkojen lisäksi tiedot perkuukokoisten kalojen, kalanpoikasten kuljetusten ja verkkoaltaiden siirron polttoainekulutuksista. Tiedot olivat selvästi tarkemmat kuin vanhassa tutkimuksessa. Sähkönkulutustiedot sisälsivät mm. jääkoneen ja ruokintalaitteiston käytön. Ravinnekuormitukset ja rehun kulutus suhteessa kalojen lisäkasvuun saatiin Lounais-Suomen ympäristökeskuksen tilastoista, jotka koskivat Suomessa kasvatettavan kirjolohen määrää, kirjolohen kasvatuksessa kulutettua rehumäärää sekä niistä aiheutuvia typpi- ja fosforikuormituksia. Rakenteiden

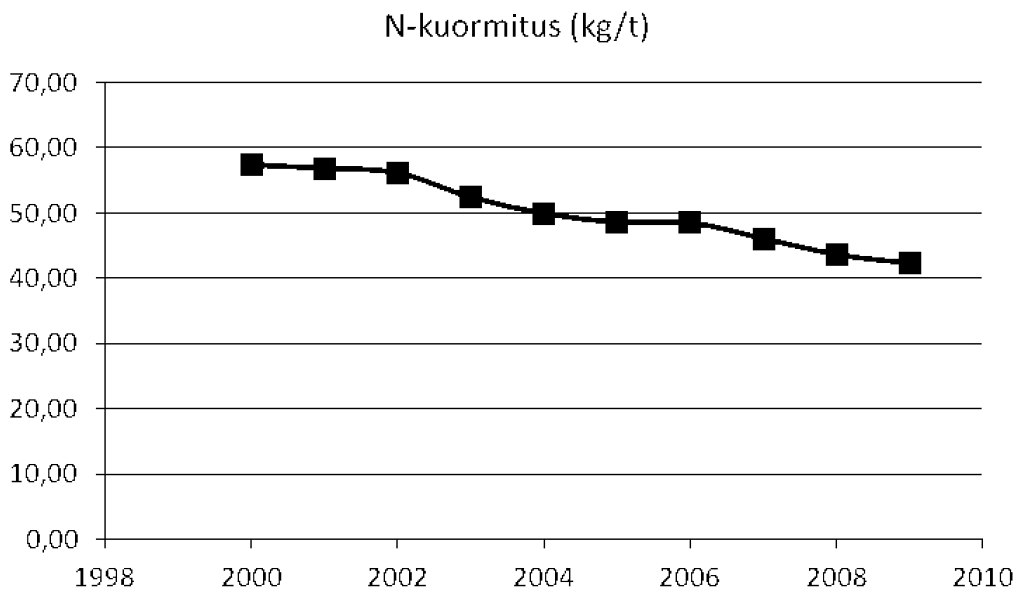
merkitystä arvioitiin suuruusluokkatasolla kyselyillä verkkokassien ja kehikoiden valmistajille (MG Trading, PK-muovi) käyttäen esimerkkinä 50 tonnin suuruista laitosta. Verkkokassien ja kehikoiden osalta huomioitiin materiaalin valmistus. Kassit olivat kassien osalta erikoiskuitua ja polyesteriä ja kehikot polyeteeniä. Erikoiskuidun oletettiin olevan nylonia ja verkkokassimateriaalin käyttöikäksi arvioitiin kuusi vuotta. Muovikehikoiden käyttöikäksi taas oletettiin 20 vuotta. Lisäksi tehtiin karkea laskelma satamassa olevalle betonilaiturille käyttöikänsä myös 20 vuotta. Nylonin valmistustiedot saatiin Ecoinvent- ja muovien Plastics Europe- tietokannoista sekä betonin Rakennustietosäätiön ylläpitämistä RT-ympäristöselosteista. Kalankasvatuksen ominaiskuormituksen kehittyminen vuosina 1999-2009 ilmenee kuvissa 5 ja 6 (Kallioniemi 2009, 2010).



Kuva 3. Allaskehikot. Kuva Suomen Kalankasvattajaliitto



Kuva 4. Kalankasvatuksen fosforipäästöt Suomessa vuosina 2000-2009 suhteessa tuhatta kiloa kasvatettua kalaa kohti (Kallioniemi 2009, 2010). *Phosphorus emissions to the waters in Finland in 2000-2009 per 1000 kg of farmed fish.*



Kuva 5. Kalankasvatuksen typpipäästöt Suomessa vuosina 2000-2009 suhteessa tuhatta kiloa kasvatettua kalaa kohti (Kallioniemi 2009, 2010). *Nitrogen emissions to the waters in Finland in 2000-2009 per 1000 kg of farmed fish.*

Kiertovesilaitoksen energiankulutustietoina käytettiin asiantuntija-arvioita (Naukkarinen 2011). Lisäksi tehtiin karkea arvio siitä, kuinka paljon rakenteiden merkitys olisi kiertovesikasvatuksessa. Rakenteista huomioitiin hallin sisältämä materiaali, joka sisälsi betonia, terästä ja polyuretaania, joiden ekotasetiedot saatiin RT-ympäristöselosteista. Itse allas sisälsi polyeteeniä ja lasikuituvahvisteita hartsia, josta käytettiin hartsin ympäristövaikutustietoja Ecoinvent-tietokannasta. Eräs ero kiertovesilaitoksen hyväksi on se, että kiertovesilaitoksen käytössä ei tarvita venekuljetuksia. Avomerikasvatuksen polttoaineenkulutustiedot saatiin RKTL:n sijainninohjauksen vaikutustutkimuksen lähtötiedoista (Kankainen ym. 2009, Setälä ym. 2009). Materiaali- ja polttoaineenkulutusmäärät taulukossa 5.



Kuva 6. Kiertovesilaitos. Suomen Kalankasvattajaliitto.

Taulukko 5. Kalankasvatuslaitoksen rakennusmateriaalien määrät ja laitoksen energiankulutusmäärät 1000 kiloa kasvatettua kirjolohta kohti laskettuna kolmessa eri kasvatusvaihtoehdossa. *Amount of construction materials on the fish farm and energy consumption per 1000 kg of farmed fish in three different farming alternatives.*

	Kirjoloheen kasvatus keskimäärin Average rainbow trout farming	Avomeri Open sea	Kiertovesi Recirculation
Kevyt polttoöljy, light fuel oil, l/t	22	14	
Sähköenergia, electric power ,kWh/t	206	206	7000
Nylon, kg/t	5,2	2,3	
Apet, kg/t	2,2	1	
Polyeteeni, polyethylene, kg/t	5,8	14,6	
Betoni, concrete, kg/t	13	13	27
Teräs, steal, kg/t			26
Hartsii, gum kg/t			13
Polyuretaani, polyurethane, kg/t			52

Perkaamo

Perkaamon jätevesikuormitusten määrittämiseen käytettiin lähdetietona julkaisua Latvala ym. (2006). Perkausjätevesien kuormitus vaihtelee kyseisen tutkimuksen mukaan välillä 265-383 kg BOD(ATU), 2,5-3,8 kg fosforia ja 34-40 kg typpeä 100 tonnia perattua kalaa kohden ennen jäteveden käsittelyä. Koneellisessa perkauksessa kuormitus voi olla selvästi suurempi, mutta useilla laitoksilla perkaus suoritetaan edelleen käsin. Kuormitus johtuu verestysvedestä sekä kalanperkauksen yhteydessä käytetystä huuhteluviedestä. Verta on noin 3-4 % kalan painosta. Yleinen jäteveden käsittelymenetelmä pienillä puhdistamoilla on jäteveden johtaminen saostuskaivoon, jonka jälkeen jätevesi johdetaan usein mereen. Saostuskaivokäsittelyllä ei kuitenkaan voi poistaa veteen liuenneita ravinteita. Muutamilla suurilla perkaamoilla on käytössä flotaatiolaitoksia ja jätevedet voidaan johtaa myös kunnalliseen puhdistamoon (Latvala ym. 2006).

Tässä tutkimuksessa on käytetty edellisen tutkimuksen (Seppälä ym. 2001) arvoja perkauksen sähköenergian kulutuksesta (20 kWh/t kalaa) ja ravinnekuormituksena worst-case tapausta (0,038 kgP/t kalaa ja 0,4 kgN/t kalaa).

Pakkaukset

Raisioagro Oy:n käyttämien rehupakkausten ympäristökuormitukset selvitettiin valmistajilta. Kalojen pakkaamiseen käytettävien styrox-laatikoiden valmistamisen ympäristökuormitukset perustuivat kolmen valmistajan keskiarvotietoihin. Lisäksi tutkimuksessa mallinnettiin rehusäkkien valmistuksesta syntyvät päästöt. Tiedot saatiin piensäkki- en osalta pakkausten toimittajilta. Suursäkkien osalta käytettiin vuoden 2001 tutkimuksen arvoja, koska uudempiä tietoja ei ollut saatavilla.

Kuljetukset

Laskelmissa mallinnettiin rehun raaka-aineiden, rehun ja kalanpoikasten kuljetustiedot sekä kalojen kuljetukset fileointiyrityksiin kalankasvatustilaksilta. Rehun raaka-aineiden osalta tutkimuksen käyttöön saatiin primääridataa kahdelta Suomeen rehua toimittavalta valmistajalta koskien kalajauhoa, kalaöljyä, soijatuotteita, vehnää, maissia ja rypsiä. Rehun Suomessa tapahtuvat kuljetustiedot mallinnettiin Raisioagro Oy:ltä saatujen tietojen perusteella. Ulkomaisen rehun laivakuljetusmatkaksi arvioitiin 1500 km. Kalanpoikasten kuljetustiedot perustuvat Taimen Oy:ltä saatuun aineistoon.

Kuljetusten päästömallinnuksen lähteinä toimi VTT:n ylläpitämä Lipasto-tietokanta sekä laivakuljetusten osalta osin Ecoinvent-tietokanta. Polttoaineiden tuotantoketju mallinnettiin Neste Oy:n ekotasetiedotteeseen perustuen. Pääasialliset kuljetukset on koottu taulukkoon 6.

Energiantuotanto

Sähköntuotannon osuuden selvittämisessä käytettiin kotimaisen rehuntuotannon osalta tuotantolaitoskohtaisia tietoja. Ulkomaisten tuotejakeiden tuotannon osalta käytettiin maakohtaisia keskiarvoja (Ecoinvent) ja muiden sähköenergian päästömallinnustilanteiden osalta keskimääräisiä kotimaisia päästökertoimia. Myös maakaasun sekä kevyen ja raskaan polttoöljyn poltosta ja tuotannosta käytettiin keskimääräisiä päästökertoimia (Energiatilasto 2011, Tilastokeskus 2010, Fortum Oil & Gas 2002). Suomalaisen rehuntuotannon osalta lämpöenergiasta ja kaukolämmöstä käytettiin voimalakohtaisia päästökertoimia. Tanskalaisen sähköntuotannon selvittämiseen käytettiin Ecoinvent-tietokannan tietoja tanskalaisesta sähköntuotannosta (Frischknecht ym. 2007).

Muut vertailtavat tuotteet

Hankkeessa vertailtiin 100 gramman kirjolohiannoksen kasvihuonekaasupäästöjä härkäpapuun, (Saarinen ym. 2011), soijapapuun (Ecoinvent, USA:n ja Brasilian keskiarvo) sekä broilerin- (Grönroos ym. 2008), sian- (Cederberg ym. 2009) ja naudanlihaan (Cederberg & Darelius 2000 ja Sonesson ym. 2009). Lisäksi lihatuotteiden rehevöittävät päästöt sekä kasvihuonekaasupäästöjen vaihteluväli saatiin lähteestä de Vries & deBoer (2010) ja härkäpapun rehevöittäviin päästöihin saatiin arvio lähteestä Saarinen ym. 2011, jossa käytettiin keskimääräisiä rehevöittäviä päästöjä härkäpapupihvejä ja perunasosetta sisältävälle annokselle. Soijatuotteiden rehevöittävät päästöt saatiin Ecoinvent-tietokannasta koskien USA:n ja Brasilian keskiarvoja. Soijatuotannon päästöt vaihtelevat runsaasti alkuperämaasta, maalajista ja laskentatavoista riippuen ja esimerkiksi Dalgaard ym. (2008) esittää argentiinalaisen soijan kasvatuksen rehevöittävien päästöjen olevan lähellä nollaa.

Taulukko 6. Kuljetusmatkoja, *Transports*

Kuljetettava tuote Product	Kuljetusmatka, distance, km	Kuljetusväline, carrier	Paluukuorma, return load
Rehu kasvatustiloihin, 2/3 rehusta, Feed to fish farms	75	12t kuorma-auto, lorry	tyhjä, empty
Rehu kasvatustiloihin ulkomailta, 1/3 rehusta Feed to fish farms	1500	laiva, ship	täysi, full
Rehu kasvatustiloihin 1/3 rehusta, Feed to fish farms	532	½ perävaunu, lorry	täysi, full
Vehnä, wheat	100	12t kuorma-auto ja 40t kuorma- auto molemmat 50 % 12 t lorry and 40 t lorry, both 50 %	tyhjä, empty
Kalajauho ja öljy, 91,5 %, Fish meal and fish oil	n1500	laiva, ship	täysi, full
Kalajauho ja öljy, 8,5 %, fish meal and fish oil	n10000	laiva, ship	
Luonnonkala, captured wild fish	50	pakettiauto, van	kuormakoko 100kg
Soijatuotteet (papu ja rouhe) Eurooppaan, soy- beans and soybean to Europe	n 10000	laiva, ship	täysi, full
Soijaproteiini, soya protein	1300-2400	laiva, ship	täysi, full
Poikaskuljetukset, juvenile fish	300	säiliöauto 6 t, tank lorry	tyhjä, empty
Kalat fileointiin, fish to filleting	150	kuorma-auto 40t, lorry	tyhjä, empty

2.4.3 Allokoinnit

Kalajauhon ja öljyn allokoinneissa käytettiin massa-allokointia, koska hinnat olivat suhteellisen lähellä toisiaan (kalaöljylle 1,3 USD/kg ja kalajauholle 1,0 USD/kg) (FAO 2011). Lisäksi hinnoissa oli huomattavaa vuosittaista vaihtelua. Tätä allokointitapaa käytettiin myös aiemmassa suomalaisen kirjolohen elinkaariarviointitutkimuksessa. Rypsiöljyn ja rouheen sekä soijarouheen ja -öljyn allokoinnit tehtiin taloudellisena allokointina. Päästöjen allokoinnissa soijarouheelle ja öljylle on käytetty paikallisia hintoja (v. 2003 tilanne), jolloin Brasiliassa soijapapuöljyn taloudellinen allokointikerroin on 40,7 % ja soijarouheen kerroin 59,3 %, kun soijapavuista saadaan massaosuuksina 81 % rouhetta ja 15,2 % öljyä. Allokoinnissa rypsiöljyn ja rypsirouheen välillä öljylle kohdentui 73,5 % päästöistä. Allokoinnit fileoinnin ja perkaamon sivutuotteille tehtiin taloudellisen arvon perusteella, samoin kuin allokointi kokonaisen kalan ja mädin välillä. Tällöin mädille kohdistettiin 9 % kirjolohen kasvatuksen ympäristövaikutuksista. Fileoinnin ja perkaamon sivu- ja päätuotteiden allokointi laskettiin myös massa-allokointina.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin aiempaan tutkimukseen verrattuna tarkemmin kalan perkausprosessin sivutuotteiden käsittelyä. Suurin osa perkuujätteiden sisältämästä öljystä menee hyötykäyttöön, mm. muiden kalalajien kasvatuksen raaka-aineeksi, muuhun rehun raaka-ainekäyttöön, biodieseliksi ja nahkateollisuuden käyttöön. Tässä tutkimuksessa laskettiin kalaöljyn korvaavan kirjolohen kasvatuksessa käytettävää kalaöljyä, perustuen siihen, että öljy korvaa kuitenkin maailman mittakaavassa kalankasvatuksen rehun raaka-aineena käytettävää kalaöljyä. Toisaalta taas biodieselin laskettiin korvaavan kalastuksessa käytettäviä dieselmääriä, josta saatiin näin korvattua yli 50 %. Jäljelle jäävät perkuujätteet voidaan biokaasuttaa tai käyttää turkiseläinten ruoaksi. Biodieselin raaka-aineeksi päättyy noin 1000 t perkuujätteitä (Salminen 2011) ja 1500-1600 t päättyy kalaöljyn tuotantoon (Halme 2011). Yhteensä perkuujätteitä saadaan 2100 t, joten kaiken perkuujätteen sisältämän öljyn voitaisiin ajatella päättyvän hyötykäyttöön lukuun ottamatta pientä määrää öljyä, joka päättyy turkiseläinten rehuksi. Turkiseläimille päättyvän rehujakeen oletettiin korvaavan norjalaisen lohen perkuujätteitä.



3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

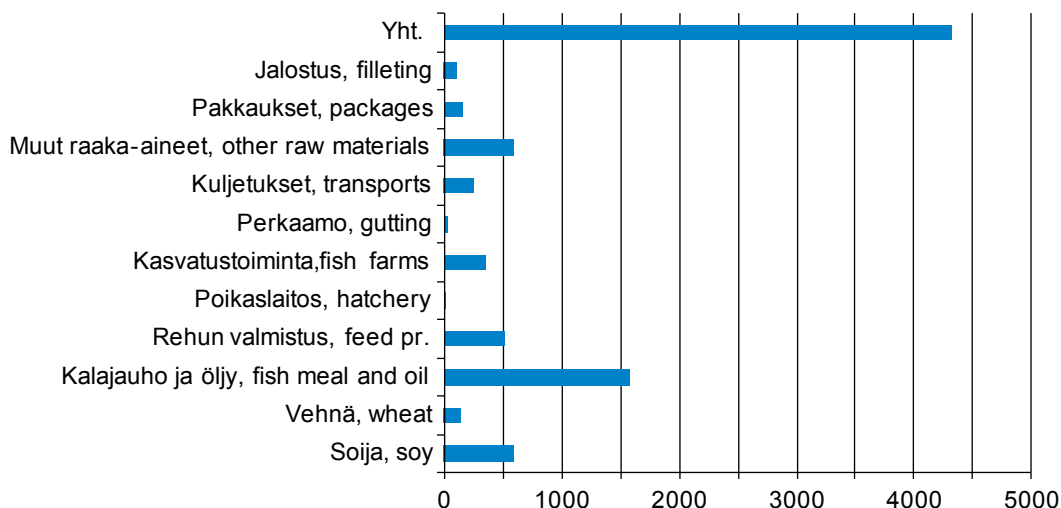
3.1 Kirjoloheen ympäristövaikutukset

3.1.1 Ilmastovaikutus

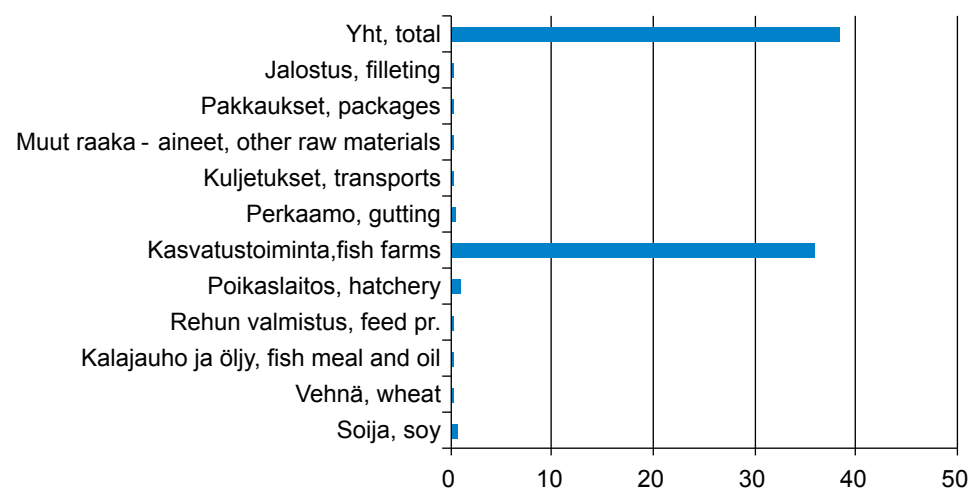
Nahattoman kirjolohifileen hiilijalanjäljeksi saatiin tässä tutkimuksessa 4350 kgCO₂-ekv/t, josta rehun raaka-aineiden tuotannon osuus oli 68 %, rehun valmistuksen osuus oli 12 %, kasvatustoiminnan 8 %, perkaamon 0,5 %, pakkausten 4 %, kuljetusten 6 % ja jalostuksen 2 % (Kuva 7). Rehun valmistuksen ja raaka-aineiden prosessoinnin osalta kasvihuonekaasupäästöt olivat lähes kokonaan peräisin energian tuotannon aiheuttamista päästöistä. Kalajauhon ja öljyn tuotantoketjun kasvihuonekaasupäästöistä 57 % oli peräisin kalastuksen polttoaineenkulutuksen päästöistä sekä kylmäaineiden häviöstä ja 43 % prosessoinnista. Rakenteiden osuus sisältyy kuvaajassa kasvatustointa-pylvääseen ja sen osuus kasvatustoiminnoista oli 39 %. Venematkojen polttoaineenkulutuksen osuus kasvatustoinnasta oli 24 % ja sähköntuotannon 37 %.

3.1.2 Rehevöitymisvaikutus

Kirjolohifileen tuotejärjestelmän rehevöittäviksi päästöiksi saatiin tässä tutkimuksessa 38,8 kg PO₄-ekvivalenttia suhteessa yhteen tonniin tuotettua kirjolohifilettä (Kuva 8). Kasvatustoiminnan osuus oli 94 % kuormituksista, rehun raaka-aineiden 3 % ja poikaslaitoksen 2 %.



Kuva 7. Suomessa kasvatetun kirjoloheen keskimääräinen hiilijalanjälki kgCO₂-ekv/t nahatonta kirjolohifilettä. *The carbon footprint (kg CO₂-eq) of 1 ton skinless rainbow trout fillet produced in Finland.*



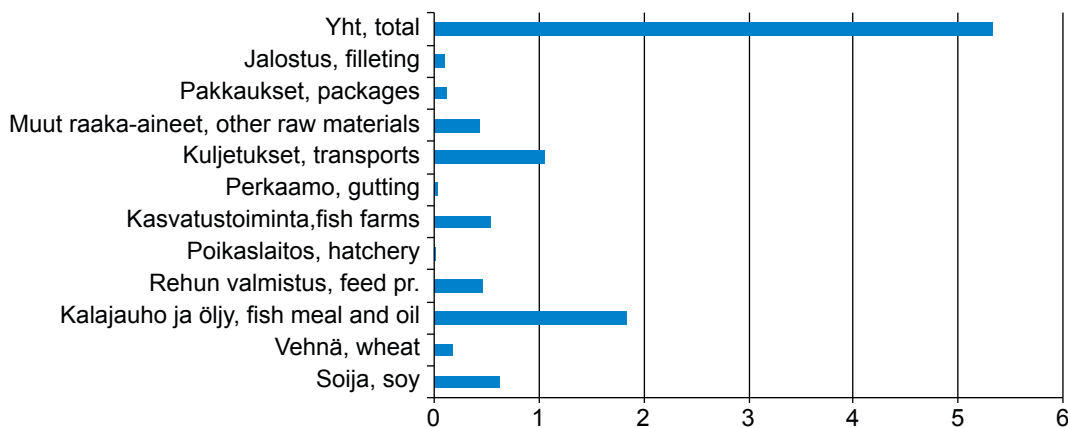
Kuva 8. Suomessa kasvatetun kirjoloheen keskimääräiset rehevöittävät päästöt kgPO₄-ekv/t nahatonta kirjolohifilettä. *The eutrophication impact (kg PO₄-equiv.) of 1 ton skinless rainbow trout fillet produced in Finland.*

3.1.3 Happamoittavat päästöt

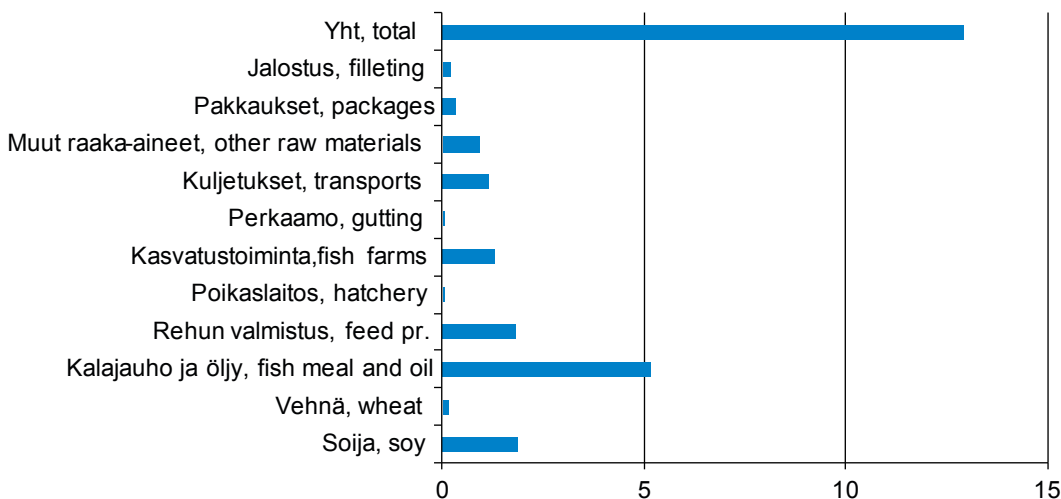
Kirjolohifileen tuotantoketjun happamoittaviksi päästöiksi saatiin 5,3 kg AE-ekvivalenttia/t kirjolohifilettä (Kuva 9). Kuormituksesta 57 % oli peräisin rehun raaka-aineiden tuotannosta, 10 % kasvatustoiminnasta, 20 % kuljetuksista ja 9 % rehun valmistuksesta. Rehun valmistuksen happamoittavat päästöt olivat pääasiassa peräisin energiantuotannon päästöistä. Rehun raaka-aineiden osalta pääasiallisia päästölähteitä olivat välituotteiden prosessointi sekä energiantuotannon aiheuttamat päästöt.

3.1.4 Alailmakehän otsoni

Alailmakehän otsoniin vaikuttavien päästöjen kasvillisuusvaikutus oli 12,9 m² * ppm * h /1000 kg kirjolohifilettä. Tästä 62 % oli peräisin rehun raaka-aineiden tuotannosta, 9 % rehun valmistusprosessista, 9 % kuljetuksista ja 10 % kasvatustoiminnasta (Kuva 10). Rehun raaka-aineiden osalta pääasiallisia päästölähteitä olivat välituotteiden prosessointi sekä energiantuotannon aiheuttamat päästöt.



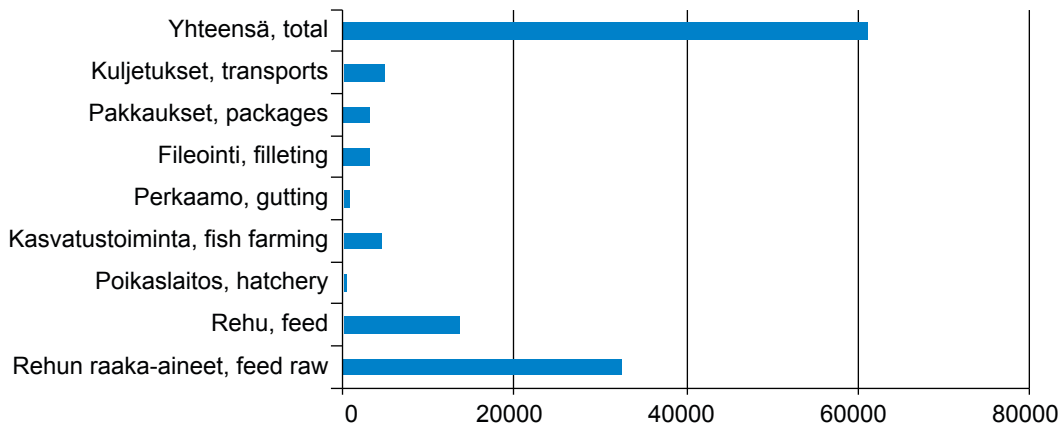
Kuva 9. Suomessa kasvatetun kirjolohen keskimääräiset happamoittavat päästöt kg AE-ekv./t nahatonta kirjolohifilettä. *The acidification impact (kg AE-equiv.) of 1 ton skinless rainbow trout fillet produced in Finland.*



Kuva 10. Suomessa kasvatetun kirjolohen alailmakehän otsoniin muodostumisesta aiheutuva kasvillisuusvaikutus, 1000 m² * ppm * h/1000 kg kirjolohifileettä. *The tropospheric ozone formation impact (1000 m² * ppm * h) of 1 ton skinless rainbow trout fillet produced in Finland.*

3.1.5 Primaarienergia

Tutkittavan tuotejärjestelmän primaarienergiankulutus oli 60711 MJ/t nahatonta fileettä. Rehun raaka-aineiden tuotannon osuus oli 52%, rehun tuotantoprosessin 22 %, kasvatustoiminnan 7 %, fileoinnin 5 %, pakkausten 5 % ja kuljetusten 7 % (Kuva 11).



Kuva 11. Suomessa kasvatetun kirjoloihen keskimääräinen primaarienergiankulutus, MJ/t nahataonta fileetä. The primary energy consumption of 1 ton skinless rainbow trout fillet produced in Finland.

3.1.6 Muut ympäristövaikutukset

Muista ympäristövaikutuksista yksi tärkeimmistä on antifouling-materiaalista aiheutuvat dikuparioksidipäästöt vesistöön. Laskennassa käytettiin karkeaa estimaattia, joka kuvasi huonointa mahdollista tapausta (Nurmi 2010). Siinä arvioitiin, että antifouling-aineiden kulutus on 1 kg/kg verkkokassimateriaalia, josta kuparia on 16 % (Kattil 2012) ja 80 % siitä liukenee. Näin saadaan vuosittaiseksi dikuparioksidiemissioksi 0,9 kg/t nahatonta fileetä. Huomattavaa tämän worst-case estimaatin käyttämisessä on se, että osalla kasvattamoista kassit käsitellään vuosittain, osalla joka toinen vuosi ja osalla verkkokassit kunnostetaan pelkällä pesulla. Vanhassa tutkimuksessa kuparipäästöt arvioitiin 1,21 kilogrammaksi tuotettua kirjolohta kohti perustuen 85 %:n liukenevaan kuparimäärään (SFT 1998). Näin siis tämä luku on todennäköisesti liian korkea. Antifouling-materiaalin käytön seurauksena kuparipitoisuudet voivat nousta pohjasedimentissä kalankasvattamon läheisyydessä (Uotila 1991).

Antibiootteja tuotiin vuonna 2009 yhteensä 110 875 kg (Evira 2011b) ja lääkerehuja valmistettiin 9900 kg (Evira 2011c). Aktiivisen aineen määrä oli vuonna 2009 tuonnin osalta 243 kg ja kotimaisten lääkerehujen osalta 74,80 kg. 2000-2009 kotimaisiin lääkerehuihin sekoitettiin Orimyciniä, mikä vastaa oksitetrasykliiniä. Tuonnin osalta taas vaikuttavasta aineesta 83 % sulfadiatsiinia ja 16 % trimetopriiniä. Taulukon 7 mukaan antibioottien käytössä suhteessa kasvatettuun kalamäärään ei ollut eroja vuosien 1999 ja 2009 välillä.

Suomessa kasvatetussa kalassa lääkejäämiä tavataan harvoin. Kalojen lääkejäämiä valvotaan vierasainevalvontaohjelmassa kalojen osalta Suomessa EU:n direktiivin 96/23 mukaisesti jokaisessa EU:n jäsenmaassa. Vuosittain ohjelmassa tutkitaan noin 200 kalasta, pääasiassa kirjolohista, otettua näytettä, joista noin 50:stä löytyi mikrobilääkejäämiä (tetrasykliinit, sulfat). Ainoastaan yksittäisissä tapauksissa perkaamoon toimitetuista kaloista otetuissa näytteistä on todettu sallittujen mikrobilääkeaineiden jäämiä raja-arvon ylittävinä pitoisuuksina. Vuosina 2001-2011 meillä Suomessa on ollut kaksi tapausta, joissa näytteistä on todettu pieniä pitoisuuksia oksitetrasykliini-jäämiä (Saraste 2012).

Taulukko 7. Antibioottien käyttömäärät kirjoloihenkasvatuksessa vuosina 1999 ja 2009, g/t. The amount (g/t) of antibiotics use in rainbow trout farming in Finland in 1999 and 2001

Antibiootti	2009	1999
Oksitetrasykliini (Orimycin) Oxytetracycline	5,5	4,5
Oksoliinihappo Oxolinic acid	0	1,2
Sulfadiatsiini Sulphadiazine	14,8	14,8
Trimetopriimi Trimethopriime	3,0	5,2

3.2 Vertailu aikaisempaan selvitykseen

Lähtökohtaisena erona vuoden 1999-2001 tutkimukseen (Seppälä ym. 2001) oli, että, aiemman tutkimuksen pääpaino oli rehevöitymisessä, kun taas tässä tutkimuksessa painotettiin myös ilmastovaikutusten mallintamista.

Kalankasvatusprosessin osalta muutoksia 10 vuoden takaiseen tilanteeseen oli mm. tarkemmat tiedot venematkojen polttoaineenkulutuksesta. Kasvatuslaitokset ovat edelleen pieniä johtuen mm. ympäristölupakäytännöstä, ja sijaitsevat etäämpänä yritysten toimipisteistä yritysostojen takia, mikä pidentää venematkoja rehun ja kalojen kuljetuksissa. Toisaalta taas yritysostojen keskittymisen myötä useampi yksikkö voidaan huoltaa samalla veneellä ja huoltoreitillä. Nykyään yritykset ovat alkaneet keskittää hajallaan olevia yksiköitä suuremmiksi laitoksiksi ympäristön ja yritystalouden kannalta kestävämpiin paikkoihin. Tuotannon keskittäminen suuriin yksiköihin lähemmäs huoltopistettä vähentää polttoaineen kulutusta ja sitä kautta hiilijalanjälkeä. Polttoaineenkulutus oli tutkimustulosten mukaan kasvanut verrattuna edellisen tutkimuksen arvioon, mutta muutoksen ei arvioitu olevan todellista, sillä edelliseen tutkimuksen arvot perustuivat karkean arvioon.

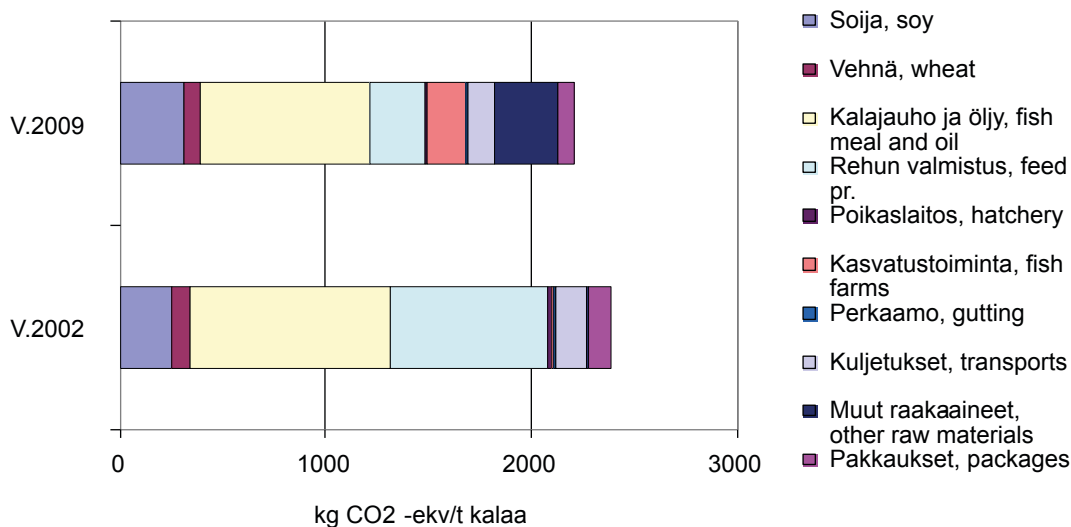
Rehunkulutusmäärät suhteessa tuotettuun kalamäärään ovat laskeneet viimeisen kymmenen vuoden aikana. Vuoden 2002 tilanteessa rehukertoimeksi (Silvenius & Grönros 2003), joka kuvaa kulutetun rehun määrää suhteessa lisäkasvuun, saatiin 1,255, kun Lounais-Suomen ympäristökeskuksen tilastojen mukainen rehukerroin vuonna 2009 oli 1,11. Rehun valmistusprosessin hiilijalanjälki oli pienentynyt, sillä esimerkiksi sähköenergian kulutus oli pienentynyt noin 32 %. Lämpöenergian kulutus oli pysynyt lähes ennallaan.

Kalajauhon ja öljyn osalta tuotantoprosessin energiankulutus oli säilynyt suhteellisen samana. Sen sijaan kalajauhon ja öljyn raaka-aineiden kalastuksesta käytössä oli nyt tietokantatietoja koskien keskimääräistä teollisuuskalan kalastusta (LCAFood 2011). Tämä arvo oli kaksinkertainen suhteessa kymmenen vuoden takaiseen arvoon. Toisaalta tällöin saatiin vastaus kalastuksen polttoaineen kulutuksesta suoraan valmistajalta. Todellista muutosta tässä tuskin on tapahtunut. Huomattavaa on myös allokoinnin vaikutus lopputulokseen: massa-allokointi kaksinkertaistaa teollisuuskalan kalastuksessa käytettävän polttoaineenkulutuksen tuoteyksikköä kohden verrattuna taloudelliseen allokointiin.

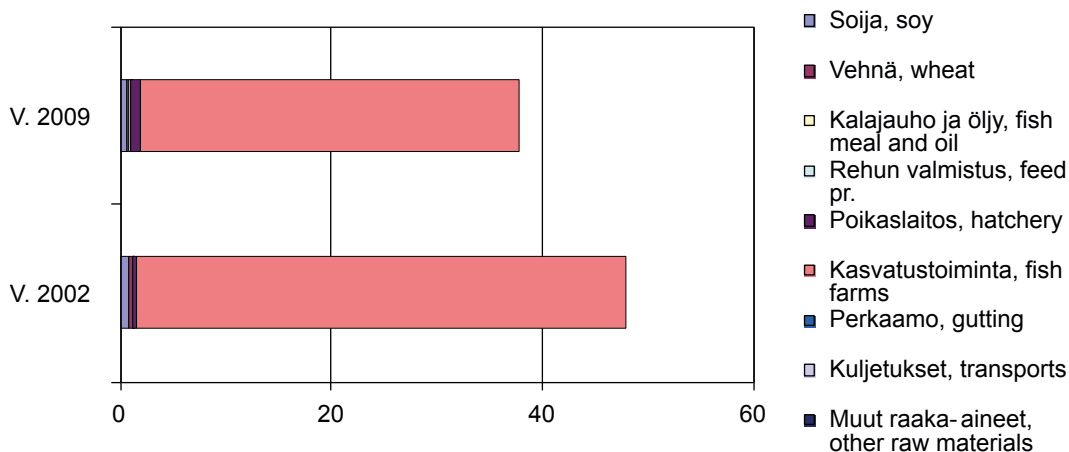
Soijan osalta suurimmat muutokset ovat tapahtuneet tiedon saatavuudessa. Kymmenen vuoden takaisen tutkimuksen aikoihin tietoja soijan viljelystä oli minimaalisesti, eikä kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa huomioitu maankäytön muutoksia ja typpioksiduuliemissioita. Soijarouhe oletettiin valmistettavaksi Brasiliassa, kun aikaisemman tutkimuksen aikoihin valmistusmaa oletettiin Suomeksi. Soijan viljelyn kasvihuonekaasu- ja happamoittavat päästöt osoittautuvatkin kertaluokkaa suuremmiksi verrattuna edellisen tutkimuksen arvioihin.

Pakkausten kohdalla styrox-pakettien tuotannon energiankulutus oli pienentynyt lähes puoleen koskien sekä lämpö- että sähköenergiaa. Kuljetusten osalta happamoittavista päästöistä typen oksidien päästöt olivat suhteessa kulutettuun polttoainemäärään noin 1,5-kertaa pienemmät ja rikkidioksidipäästöt noin 1,8 kertaa pienemmät. Muista raaka-aineista oleellinen muutos oli rypsiöljyn käytön lisääntyminen. Muutos ei kuitenkaan aiheuttanut merkittäviä muutoksia hiilijalanjälkeen.

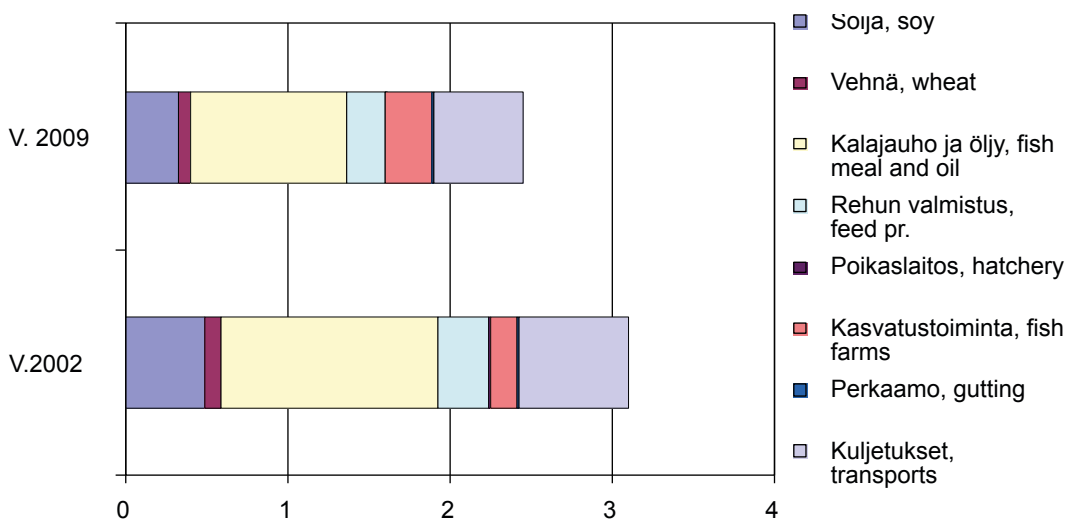
Kokonaisuutena todellisuudessa happamoittavat päästöt sekä ilmastonmuutokseen vaikuttavat päästöt sekä primaarienergian kulutus olivat pienentyneet, kun huomioidaan menetelmätekniinen kehitys (Kuvat 12, 13, 14 15). Hiilijalanjälki oli pienentynyt 9 %, rehevöittävät päästöt 26 %, happamoittavat päästöt 15 %, alailmakehän otsoniin vaikuttavat päästöt 8 % ja primaarienergian kulutus arviolta 5 %. Primaarienergian kulutuksen todellista pienentämistä ei pystytty laskemaan luotettavasti.



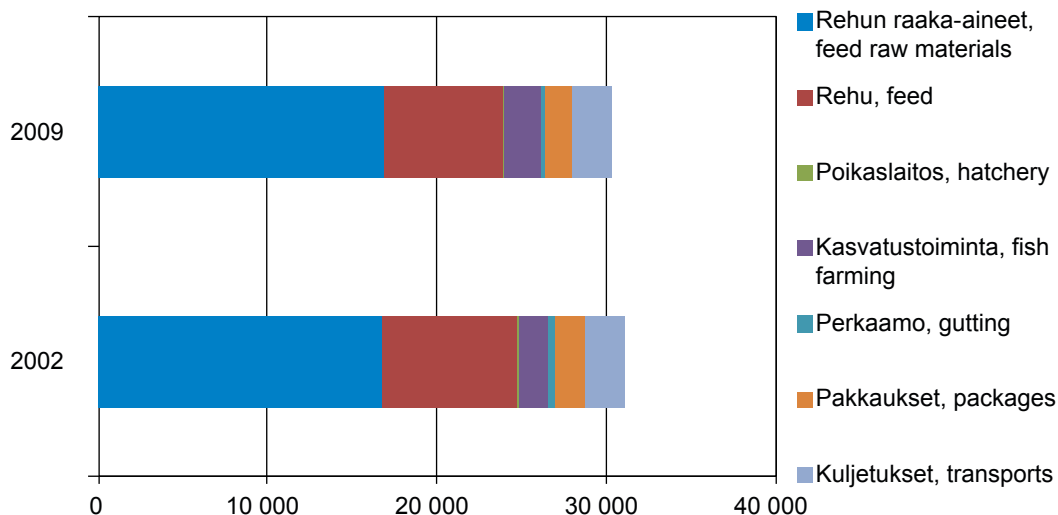
Kuva 12. Kokonaisen kirjolohen hiilijalanjälki (kg CO₂-ekviv.) 1000 kg kirjolohifileettä kohti laskettuna vuosina 2009 ja 2002. The climate impact (kg CO₂-equiv.) of 1 ton of rainbow trout produced in Finland in 2009 and 2002”



Kuva 13. Kirjolohifileen tuotantoketjun rehevöittävä vaikutus (kg PO₄-ekviv.) 1000 kg kirjolohifileettä kohti laskettuna vuonna 2009 ja 2002. The eutrophication impact (kg PO₄-equiv.) of 1 ton of skinless rainbow trout fillet produced in Finland in 2009 and 2002.



Kuva 14. Kirjolohen kasvatuksen happamoittava vaikutus (kg AE-ekvivalenttia) 1000 kg kirjolohifileettä kohti laskettuna vuosina 2009 ja 2002. The acidification impact (kg AE-equiv.) of 1 ton of skinless rainbow trout fillet produced in Finland in 2009 and 2002.



Kuva 15. Kirjolohen kasvatuksen primaarienergian kulutus (MJ/t kokonaista kirjolohta) vuosina 2002 ja 2009. *Primary energy consumption (MJ) per 1 ton of rainbow trout produced in Finland in 2002 and 2009.*

3.3 Erilaisten allokointiratkaisuiden vaikutus tuloksiin

Hartikainen (2011) tutki Pro Gradu –tutkielmassaan allokointimenettelyjä elintarviketuotannossa yhtenä esimerkkinä kirjolohi. Hartikainen totesi, että kansainvälisten standardien tulkinnanvaraus ja yleisesti hyväksyttävien PCR-laskentasuositusten puute kalaa koskeville elinkaariarviointitutkimuksille vaikeuttavat eri kalatuotteiden vertailua toisiinsa. Lopputyössään hän käsitteli kirjolohen kasvatuksen elinkaariarviointia siten, että hän valitsi neljä keskeisintä allokointitilannetta ja tarkasteli niissä tehtäviä vaihtoehtoisia allokointiratkaisuja. Valitut allokointitilanteet olivat samat kuin tässä raportissa (kuva 16) allokointi kokonaisen kalan ja mädin välillä, allokointi fileen ja jalostuksen sivutuotteiden (perkuujätteet ja fileoinnin sivutuotteet) välillä sekä rehun osalta kahdessa tilanteessa: allokointi soijarehun ja -öljyn välillä sekä kalajauhon ja -öljyn välillä. Kohdassa 2.4 mainitun perustilanteen ohella Hartikainen tarkasteli myös vaihtoehtoisia allokointimenettelyjä, jotta hän pystyi havainnollistamaan kuinka, eri allokointiratkaisut muuttavat perustilannetta (Taulukko 8).

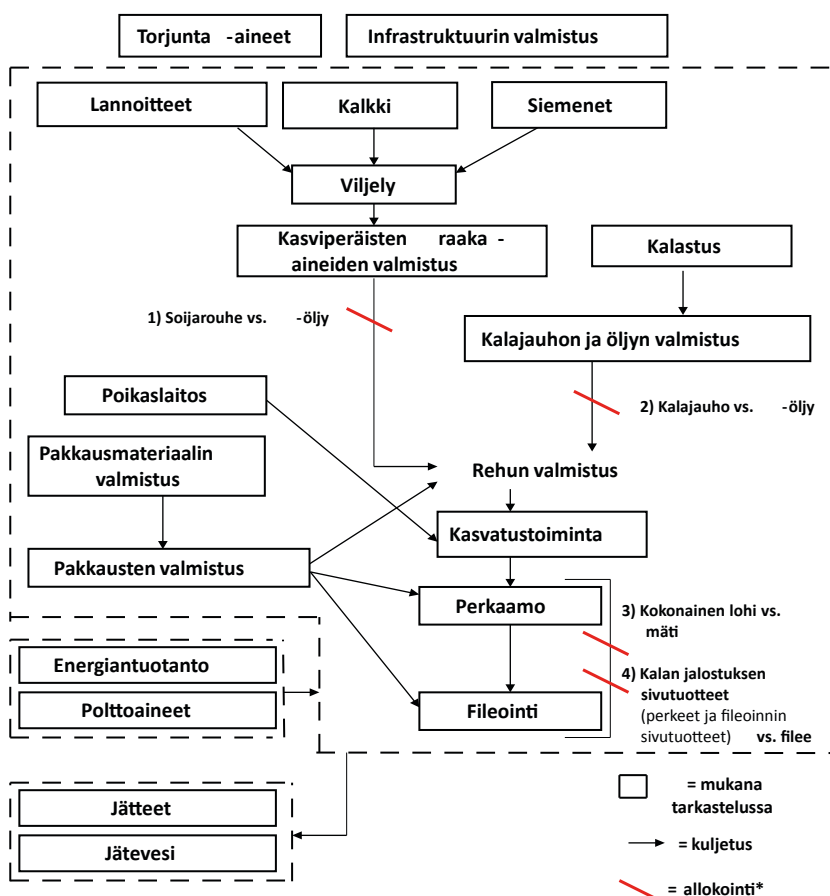
Taulukko 8. Kirjolohifileen elinkaariarvioinnit allokointimenettelyjen eri variaatioilla. *Studied allocation cases of rainbow trout fillet*

Allokointimenettelyt, allocations
Perustilanne: Taloudellinen allokointi: kalanjalostuksen sivutuotteet ja filee, kokonainen kirjolohi ja mäti (hintojen keskiarvot: mädin osuus on 9 %:ia tuotoista), soijarouhe ja -öljy; Massa-alkointi: kalajauho ja -öljy Basic case: Economical allocation fillet, roe (9%) and by-products of gutting and filleting, soy products, mass allocation fish meal and oil
Perustilanne, mutta Massa-alkointi: kalanjalostuksen sivutuotteet ja filee Basic case, but mass allocation fillet and by products of filleting and gutting
Perustilanne, mutta Taloudellinen allokointi: kalajauho ja -öljy Basic case, but economic allocation fish meal and oil
Perustilanne, mutta Massa-alkointi: soijarouhe ja -öljy Basic case, but mass allocation soybean oil and meal
Perustilanne, mutta valittiin vuosi, jolloin mädin osuus oli 11 %:ia tuotoista Basic case, but allocation to roe 11 %
Perustilanne, mutta valittiin vuosi, jolloin mädin osuus oli 5 %:ia tuotoista Basic case, but allocation to roe 5 %
Perustilanne, mutta Korvausmenettely: soijarouhe ja -öljy (soijaöljy korvaa rypsiöljyä), kalanjalostuksen sivutuotteet ja filee (kalanjalostuksen sivutuotteet korvaavat rehua) Basic case, but substitution: soybean oil replaces canola oil and by products of gutting and filleting replaces feed
Kaikki allokoidaan fileelle Everything allocated to fillet

Schau & Fet (2008) ovat esittäneet, että yleisimmin kalatuotteiden elinkaariarviointitutkimuksissa on käytetty massa-allokointia, sillä kalan perkuujätteiden ravintoarvo on suurin piirtein sama kuin kalan lihan. Niinpä Hartikainen (2011) tarkasteli fileen, perkeiden, fileoinnin sivutuotteiden ja mädin allokointitilanteessa myös massa-allokointia. Myös energiapitoisuuden mukaista allokointia on käsitelty kyseisessä tutkimuksessa ja tulosten todettiin vastaavan massa-allokointia. Kokonaisen kirjolohen ja mädin välisten tuloksien muutoksia on tarkasteltu käyttäen taloudellista allokointia, kun tarkastellun viiden vuoden ajalta valittiin alhaisin ja korkein tuottajahintojen suhteellinen ero (Hartikainen 2011). Tässä tutkimuksessa tehtiin myös laskelma sivuvirtojen hyötykäytön merkittävyyttä käyttäen *consequential* eli seurannaisvaikutuksellista lähestymistapaa, jossa perkuujätteiden sisältämä kalaöljy hyödynnetään rehuna. Tätä lähestymistapaa esimerkiksi Svanes ym. 2011 eivät suosittele, mutta toisaalta voidaan ajatella, että tällainen lähestymistapa kannustaisi kalateollisuuden toimijoita perkuu- ja fileointijätteiden tehokkaampaan hyötykäyttöön. Allokointi mädin ja perkaamattoman kalan välillä suoritettiin myös kyseisessä vertailussa taloudellisenä allokointina, koska ei löytynyt tuotetta, jota mäti nimenomaan korvaisi. Lisäksi on huomioitava, että kalanjalostuksen sivuvirroista saattaa olla mahdollista eristää myös muita arvokomponentteja, kuten erilaisia vasta-aineita ja proteiineja sekä ruotojen sisältämää fosforia. Näiden tekijöiden huomioiminen kuitenkin jätettiin tämän tutkimuksen ulkopuolelle.

Rehun raaka-aineiden osalta allokointi aiheuttaa omat haasteensa esimerkiksi kalajauhon ja -öljyn sekä soijarouheen ja -öljyn välillä. Kalajauhon ja -öljyn osalta tarvitaan allokointia, sillä rehukalasta saadaan kalajauhoa yli kolminkertainen määrä kalaöljyyn nähden, mutta kirjolohen rehuun molempia tarvitaan lähes samassa suhteessa. Soijasta saatavista soijaöljystä ja -rouheesta tarvittiin taasen vain rouhe rehun valmistukseen. Lisäksi kalajauhon ja -öljyn raaka-aineiden kalastuksessa tulee suorittaa allokointi pää- ja sivusaaliiden kesken.

Vaihtoehtoisiksi allokointiratkaisuksi vertailuiksi perustilanteeseen Hartikainen (2011) tarkasteli myös, että soijaöljyä käytettiin rypsiöljyn korvikkeena, missä korvaussuhteeksi valittiin 1:1. Edellä mainittujen allokointitien ohella tarkastelussa oli myös tilanne, missä kaikkien neljän tarkasteltavan allokointitilanteen päästöt kohdistettiin kirjolohifileelle. Yhteensä tarkasteluun valittiin siis seitsemän perustilanteesta poikkeavaa tilannetta. Kirjolohifileen hiilijalanjälki perustilanteessa ja käytettäessä allokointien eri variaatioita voidaan nähdä kuvassa 17. Selkeä ero perustilanteeseen nähden saatiin ainoastaan allokointaessa khk-päästöt fileen ja perkeiden välillä massaperusteisesti. Tällöin

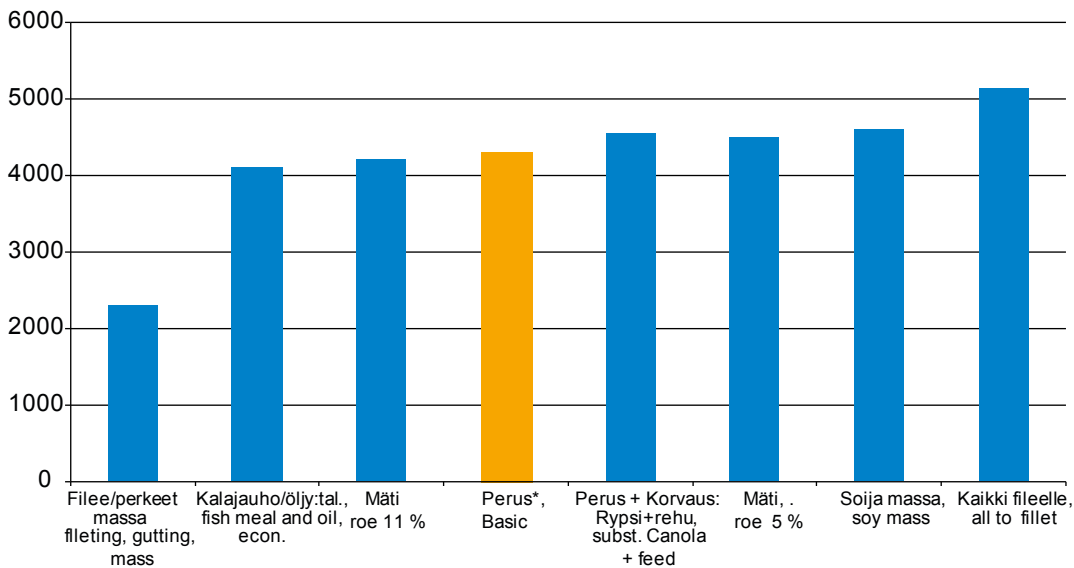


*Lisätarkasteluun valitut allokointitilanteet (järjestelmään kuuluu myös muita allokointitilanteita, mutta niitä ei ole tässä erikseen mainittu)

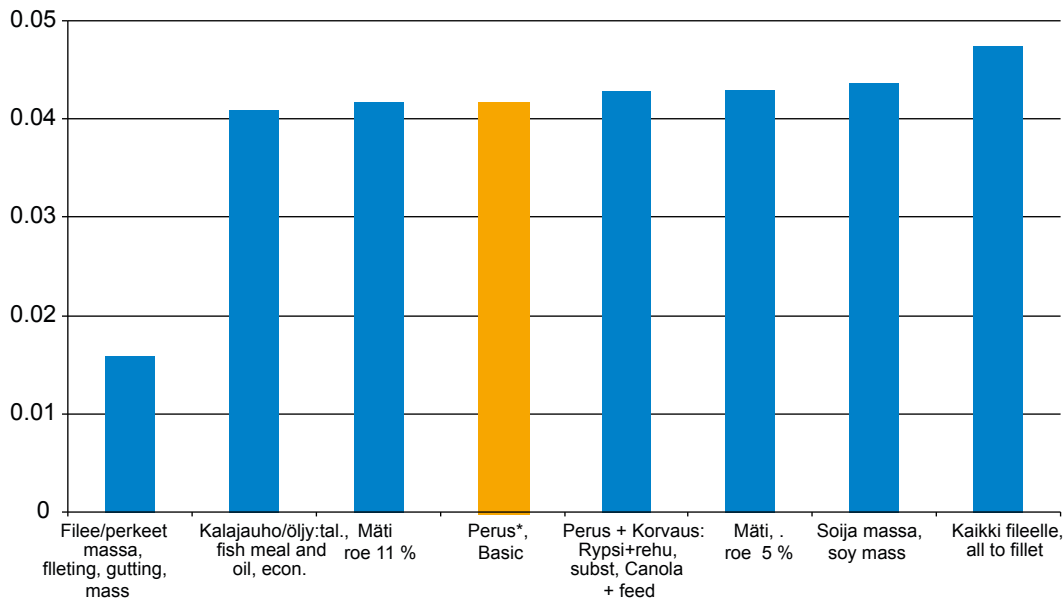
Kuva 16. Kirjolohen kasvatuksen tuotantoketjun allokointitilanteet. *Allocations of the production chain of rainbow trout.*

hiilijalanjälki oli puolet perustilanteesta. Rehujen allokointitratkaisuilla, fileen ja mädin välisen taloudellisen arvon muutoksilla ja korvausmenettelyillä ei sen sijaan näyttänyt olevan suurta vaikutusta lopputulokseen.

Kirjolohifileen rehevöitymisvaikutukset olivat hiilijalanjälkien tuloksien kanssa samansuuntaisia (Kuva 18). Fileen ja perkeiden välinen massa-allokointi antoi yli puolet perustilannetta pienemmän tuloksen. Muuten erot olivat melko pieniä.



Kuva 17. Kirjolohifileekilon hiilijalanjälki eri allokointitavoilla laskettuna kg CO₂-ekv/t fileettä. (Hartikainen 2011).
The carbon footprint of 1 ton of skinless rainbow trout fillet kgCO₂-eq/t fillet produced in Finland when different allocation methods are used.



Kuva 18. Kirjolohifileetonnin rehevöitymisvaikutus eri allokointitavoilla laskettuna (Hartikainen 2011). *Perustilanteessa: Tal. 0,91, soijarouhe/öljy: taloudellinen ja kalajauho/öljy: massa
The eutrophication impact of 1 ton of skinless rainbow trout fillet produced in Finland in different allocation methods.

Edellä esitetyn tarkastelun lisäksi Hartikainen (2011) tarkasteli kansainvälisten standardien tuloksinvaraisuutta ja erilaisten PCR (Product Category Rules)-laskentasuositusten puutteellisuutta allokointien osalta. Hartikainen havainnollisti eri ohjeistuksien allokointisuosituksia kirjolohifilee-esimerkillään esittämällä kuinka eri ohjeistukset vaikuttavat kirjolohen hiilijalanjälkeen ja rehevöitymisvaikutukseen. Hartikainen esitti tutkielmassaan, että eri ohjeistuksien allokointisuosituksia on pyritty tulkitsemaan parhaimman ymmärryksen mukaan, mutta on mahdollista, että niitä voidaan tulkita toisinkin. Tulkinat ja mahdolliset epävarmuudet niissä on pyritty esittämään myös seuraavassa. Tarkastelussa ovat mukana luvun 5 ohjeistuksista ja ohjeista ISO-standardi, ILCD-käsikirja, KHK-protokolla, PAS2050 ja tuoteryhmäkohtainen ohje (PCR), mikä on laadittu kalalle ja muille kalastustuotteille.

ILCD-käsikirjaa käytettäessä kaikkiin tapauksiin tarkastelussa oli taloudellinen allokointi sillä allokointia ei voitu välttää, eikä fyysis-kausaalinen allokointiratkaisu ollut saatavilla (Hartikainen 2011). ISO-standardin osalta Hartikainen (2011) tarkasteli korvausmenettelyä niissä tilanteissa joissa se koettiin mahdollisena, eli perkeiden, fileoinnin sivutuotteiden ja soijaöljyn osalta. Muut allokointitilanteet Hartikainen (2011) ratkaisi sekä taloudelliseen arvoon että massaan pohjautuen, sillä standardi ei suosittele yhtä allokointiperustetta ylitse muiden. KHK-protokolla pitää korvausmenettelyä niin ikään allokointeja suositeltavampana, mutta sen käytön ehtona tulee myös tietää, mitä tuotetta korvataan ja käyttää korvattavan tuotteet keskimääräisiä päästöjä (WRI/WBCSD 2011, 66–67). Kuten edellä esitettiin, perkeiden ja fileoinnin sivutuotteiden osalta nämä ehdot täytyivät, mutta soijaöljyä korvaavasta tuotteesta ei ollut selkeää käsitystä. Tästä johtuen Hartikainen (2011) käytti vain perkeille ja fileoinnin sivutuotteille korvausmenettelyä ja muissa tilanteissa käytettiin sekä taloudellista - että massa-alkokointia, sillä protokollan esitys valinnasta taloudellisen ja fyysisen allokoinnin väliltä jätti tulkinnanvaraa sopivasta menettelystä (WRI/WBCSD 2011, 70).

PAS2050:tä käytettäessä Hartikainen (2011) valitsi myös ensin korvausmenettelyn, jossa korvaus tehtiin perkeille ja soijaöljylle. Tosin ei ollut selvyyttä kuinka korvausmenettelylle annettu ehto: ”tuote, joka korvaa yhtä tai useampaa rinnakkaistuotetta, voidaan tunnistaa” (PAS2050 2011, 22), tulisi tulkita soijaöljyn kohdalla, eli toimitaanko ohjeistuksen mukaisesti olettaessa soijaöljyn korvaavan rypsiöljyä. Muissa tilanteissa Hartikainen (2011) valitsi taloudellisen allokoinnin, sillä vaikka PAS2050 ehdottaa, että allokointiperuste tulisi valita sen esittämien useiden kriteerien pohjalta (PAS2050 2011, 7 & 22), eivät kriteerit osoittaneet selkeästi yhtä sopivaa allokointitapaa. Kalatuotteiden tuoteryhmäkohtaisessa ohjeessa (PCR) esitettiin menettelyksi fyysistä allokointia, joten Hartikainen (2011) valitsi allokointiperusteeksi valittiin massa-alkokoinnin. Lisäksi koska tuoteryhmäkohtaisia ohjeita tarkentavassa liitteessä on todettu, että suhteellisesti vähäarvoista rinnakkaistuotetta tulisi kohdella jätteenä (jätteille ei tule allokoida päästöjä), Hartikainen (2011) tarkasteli myös tilannetta, missä taloudellisesti vähäarvoisille perkeille ei allokoidu lainkaan päästöjä (EPD 2008b, 13).

Tarkastelun tulokset on koottu taulukoon 8. Taulukosta on nähtävissä, kuinka tulokset vaihtelevat selvästi eri ohjeistuksissa. ISO-standardi, KHK-protokolla ja tuoteryhmäkohtainen ohjeistus jättivät valinnanvaraa, mitä allokointiperusteita tulisi käyttää. Tämä ohjeistuksien tarjoama tulkinnanmahdollisuus esitetään hiilijalanjäljen vaihteluvälinä eri allokointiperusteita käytettäessä.

Taulukko 9. Kirjolohifileen hiilijalanjälki ja rehevöitymisvaikutukset eri ohjeistuksien allokointiohjeiden mukaisesti laskettuina (Hartikainen 2011). *The carbon footprint and eutrophication impact of 1 ton skinless rainbow trout fillet produced in Finland based on different LCA-calculation standards.*

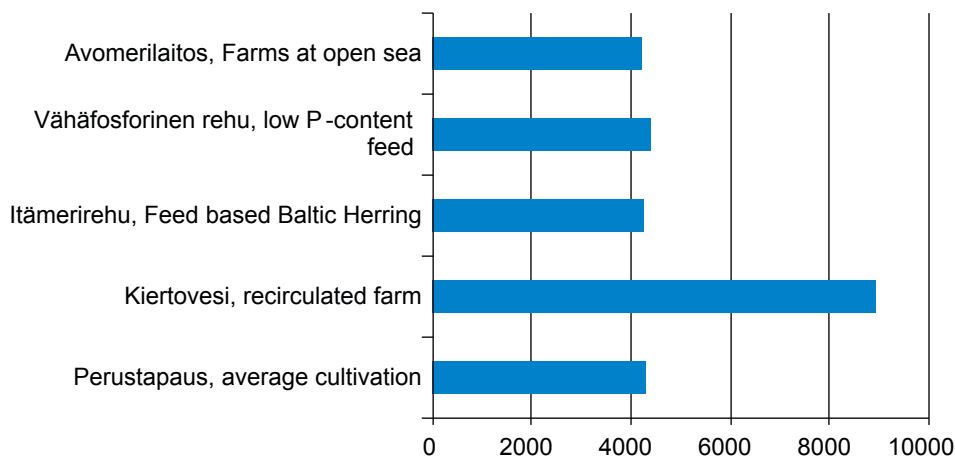
Standardi/ ohjeistus	Allokointimenettely	Hiilijalanjälki (kg CO ₂ -ekv/ kg fileetä)	Rehevöityminen (kg PO ₄₃ - -ekv/ kg fileetä)
ILCD-käsikirja	Taloudellinen Economical	4,2	0,04
ISO-standardi	Korvausmenettely(rehu & rypsiöljy), fyysinen(massa) – taloudellinen Substitution (feed and canola oil), physical (mass) - economical	2,6 – 4,4	0,02 – 0,04
KHK-protokolla	Korvausmenettely(rehu), fyysinen(massa) – taloudellinen Substitution (feed), physical (mass)- economical	2,6 – 3,7	-
PAS2050	Korvausmenettely(rehu & rypsiöljy), taloudellinen Substitution (feed + canola oil), economical	4,4	-
PCR ()	Massa – massa (mutta perkeille ei allokoida mitään) Mass –mass, 0 % to by-products of filleting and slaughtering)	2,2 – 4,3	0,02 – 0,04

3.4 Kirjolojen kasvatuksen aiheuttamien ympäristöhaittojen vähentäminen eri kasvatustapojilla

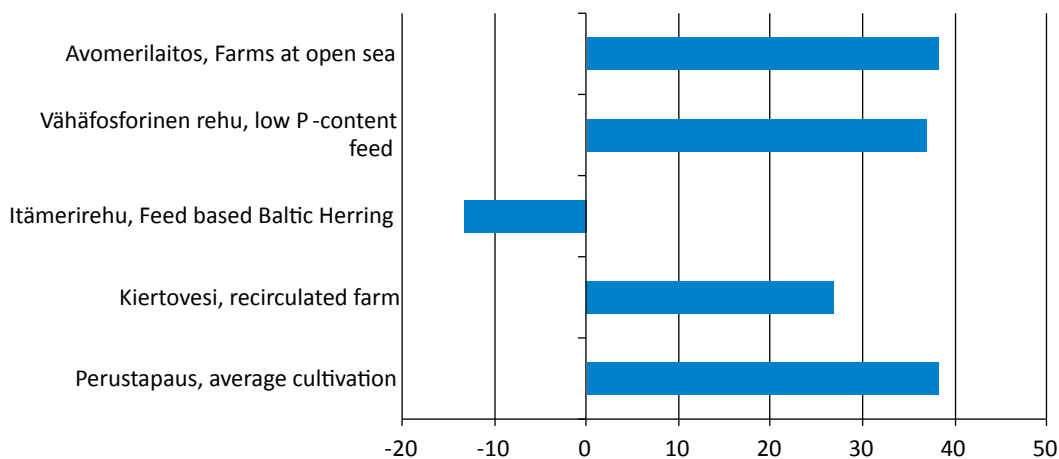
Mahdollisuuksista vähentää kirjolojen kasvatuksen rehevöittäviä päästöjä suhteessa keskimääräiseen suomalaiseen kirjolojenkasvatukseen (jäljempänä perustapaus) tutkittiin avomerikasvatusta, kiertovesilaitosta, Itämeren silakan käyttöä kalajauhon ja -öljyn raaka-aineena (jäljempänä Itämerirehu) sekä fytaasipohjaista ympäristörehua (jäljempänä vähäfosforinen rehu) (Kuvat 19 ja 20), Vähäfosforisesta rehusta on todettu kokeellisesti, että kalankasvatuksen fosforikuormitus vähenee 26 % suhteessa aiemmin käytössä olleisiin kalanrehuihin Suomessa (Vielma 2008). Tulosten mukaan kiertovesikasvatustapojilla kasvatetun kirjolojen hiilijalanjälki on suurin, muissa tapauksissa ei ole suurta eroa. Kuitenkin avomerikasvatuksen ja vaihtoehdon, jossa käytetään Itämeren kalaa kalajauhon- ja öljyn raaka-aineena hiilijalanjälki on hieman pienempi kuin perustapauksen. Tämä johtuu siitä, että kalaraaka-aineen kuljetusmatkat ovat pidempiä. Avomerikasvatuksessa rakenteiden osuus hiilijalanjäljestä pieneni 8 % ja ve-

nematkojen polttoaineenkulutuksen oletettiin laskevan 37 %. Avomerikasvatuksen ravinnekuormitukset ovat samat kuin perustapauksessa. Kiertovesilaitoksessa tuotetun kirjoloihen hiilijalanjälki keskimääräisellä suomalaisella sähköllä laskettaessa oli yli kaksinkertainen keskimääräiseen verkkoaltaassa kasvatettuun kirjoloheen nähden johdun huomattavasta pumppausenergian tarpeesta, mutta on huomioitava, että käytettäessä vihreää sähköä kierto-vesilaitoksen hiilijalanjälki laskisi miltei verkkoallaskasvatuksen tasolle. Käytettäessä kalojen ruokinnassa kokonaan vähäfosforista fytaasipitoista rehua vähenee fosforin kokonaiskuormitus suhteessa aiemmin käytössä olleisiin rehuihin rehukiloa kohden 26 %. Kun huomioidaan, että vähäfosforisen rehun osuus oli vuonna 2009 jo noin 25 %, on fosforin kokonaiskuormituksen vähenemä 16 %. Rehevöittäviä kokonaiskuormituksia laskettaessa fosforin osuus on vajaa puolet, jolloin siis rehevöittävä kokonaiskuormitus vähenee 8 %. Tässä tutkimuksessa käytetyllä menetelmällä huomioitiin kuormituksen käyttökelpoisuus leville. Menetelmällä typen suhteellinen osuus ravinnekuormitusten ympäristövaikutuksista kasvaa ja fosforin vähenee 29 prosenttiin. Lopulliseksi tulokseksi saatiin, että rehevöittävä ympäristövaikutus vähenisi 4,5 % suhteessa nykytilanteeseen, jos siirryttäisiin kokonaan vähäfosforiseen fytaasipitoiseen rehuun. Vähäfosforista rehua käytettäessä hiilijalanjälki on hieman suurempi kuin tavanomaisessa kasvatuksessa, koska soijatuotteiden hiilijalanjälki on hieman suurempi kuin kalajauhon ja -öljyn. Kuitenkin tuloksia analysoitaessa on huomioitava lähtötietojen epätarkkuus niin soijan viljelyn kuin kalajauhon ja -öljyn raaka-aineiden kalastuksen osalta. Tällä hetkellä vähäfosforisen rehun markkinaosuudesta Suomessa on noin 50 % (Lerche 2012b). Viralliset tilastot huomioivat vain rehevöittävät kokonaiskuormitukset, eikä kuormitusten käyttökelpoisuutta levillä oteta huomioon.

Rehevöittämissä päästöissä havaittiin, että erilaisista kasvatusvaihtoehdoista kierto-vesilaitoksiin siirtyminen vähentäisi päästöjä 32 %. Lasketulla nettokuormitusskenaariolla kuormitukset pystyttäisiin täysin kompensoimaan vähempiarvoisen kalan kalastuksella ja tilanteessa, jossa kalajauho ja -öljy valmistettaisiin täysin Itämeren kalasta, olisi Itämereen päätyvä ravinnetase negatiivinen vuonna 2009 käytössä olleilla rehuresepteillä. Ympäristörehun käytön pieni rehevöittävä vaikutus selittyy fosforin matalalla käyttökelpoisuudella levillä.



Kuva 19. Erilaisilla kasvatusmenetelmillä kasvatetun kirjoloihen hiilijalanjälkit kg CO₂-ekv/t fileetä. The carbon footprint of 1 ton skinless rainbow trout fillet produced in Finland in different production methods.



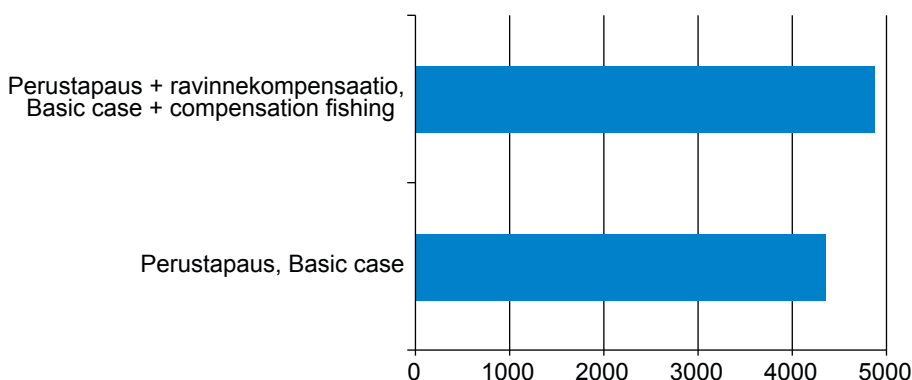
Kuva 20. Erilaisilla kasvatusmenetelmillä kasvatetun kirjoloihen rehevöittävät päästöt, kgPO₄-ekvivalenttia/t fileetä. Avomerilaitoksen rehevöittävä päästö sama kuin perustapauksen. The eutrophication impact of 1 ton skinless rainbow trout fillet produced in Finland in different production methods.

3.5 Nettokuormitustyökalu

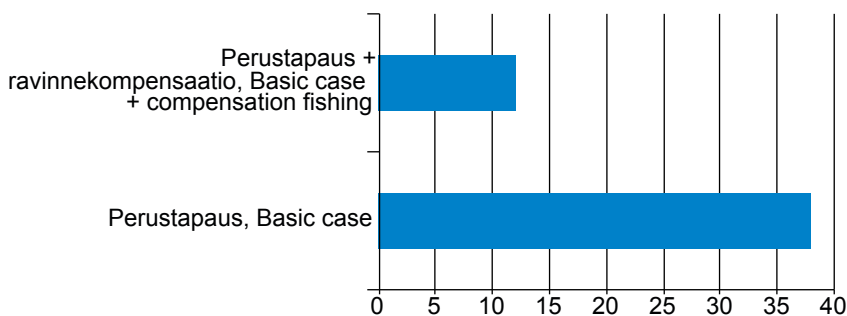
Kansallisessa vesiviljelyohjelman 2015 mukaisessa ympäristölupaharkinnassa pyritään ottamaan huomioon yrittäjien vapaaehtoiset toimet ravinteiden vähentämiseksi laitosten vaikutusalueelta tai Itämeren ulkopuolelta tulevien ravinteiden korvaamiseksi. Tällaisiksi keinoiksi katsotaan esimerkiksi ravinteiden poisto vaikutusalueella vaeltavien vajaasti hyödynnettyjen kalojen (erityisesti särkikalat) pyynnillä. Poistettaessa vajaasti hyödynnettyä kalaa käytetään ympäristöluvassa lähtökohtaisesti korjauskerrointa 1,1 eli 11 tonnin poistettu kalasaalis antaisi oikeuden 10 tonnin kalamäärän lisäkasvatukseen. Toiminnasta voidaan katsoa olevan myös vesiensuojeluhyötyä, kun vesistöistä poistetaan enemmän ravinteita kuin em. lisäkasvatus aiheuttaa ravinnepäästöjä vesistöön.

Kuvassa 21 on esitetty hiilijalanjälki tilanteessa, jossa 1000 kg kirjolohifileetä kohden kalastetaan 1100 kg vähempiarvoista kalaa. Kuvasta on nähtävissä, että vähempiarvoisen kalan kalastuksella hiilijalanjälki on 12 % suurempi.

Kuvassa 22 on esitetty rehevöittävät päästöt perustapauksessa ja tilanteessa, jossa on kalastettu 1100 kg vähempiarvoista kalaa 1000 kg:n tuotantoa nähden. Rehevöittäviä päästöjä pystytään näin vähentämään noin 70 %, jos oletetaan, että poistettavien kalojen ravinne määrästä on sama osa käyttökelpoista leville kuin kirjolohenkasvatuksen ravinnekuormituksesta.



Kuva 21. Kirjolohifileen hiilijalanjälki tämänhetkisessä tuotannossa 1000 kg:lle kirjolohifileetä ja tilanteessa, jossa on arvioitu 1000 kg:n lisäkasvatuksen hiilijalanjälki, kun rehevöittäviä päästöjä on kompensoitu kalastamalla vähempiarvoista kalaa 1100 kg suhteessa 1000 kg:n tuotettuun kirjolohtaan. *Carbon footprint of rainbow trout fillet with low-valued fish captured 1100 kg/1000 kg produced rainbow trout for nutrient compensation (upper bar) compared to carbon footprint of basic case of rainbow trout fillet (lower bar).*



Kuva 22. Kirjolohifileen tuotantoketjun rehevöittävä vaikutus, kun kasvatuslaitosten ravinnekuormitusta kompensoidaan vähempiarvoisen kalan kalastuksella. *The eutrophication impacts of product chain of rainbow trout when the nutrient loads are compensated by fishing of low-valued fish 1100 kg/1000 kg rainbow trout (upper bar)*

3.6 Kirjoloheen ympäristövaikutukset verrattuna muihin proteiinin lähteisiin

Kirjoloheen ympäristövaikutuksia verrattiin norjalaiseen loheen ja suomalaisen kalastettuun luonnonkalaan (hauki, siika, kuha ja ahven).

Kuvassa 23 on vertailtu kokonaisen kirjoloheen hiilijalanjälkeä luonnonkalaan sekä norjalaiseen loheen (Pelletier ym. 2009). Tutkimustulosten mukaan norjalaisen loheen ja kotimaisen kirjoloheen hiilijalanjälki on samaa suuruusluokkaa. Lohifileelle hiilijalanjälki on Wintherin ym. (2009) mukaan myös 4350 kg CO₂-ekv/t fileetä käytettäessä taloudellista allokoitua. lohen perkuu ja fileesaannot ovat hieman kirjolohta suurempia, mutta toisaalta meriloheesta ei juurikaan oteta mätää elintarvikekäyttöön. Tuotanto esimerkiksi polttoainekulutuksen osalta per tuotettu kalakilo on Norjassa tehokkaampaa koska laitosten koko on suurempi (keskimääräinen laitostekoko noin 900 tonnia kun

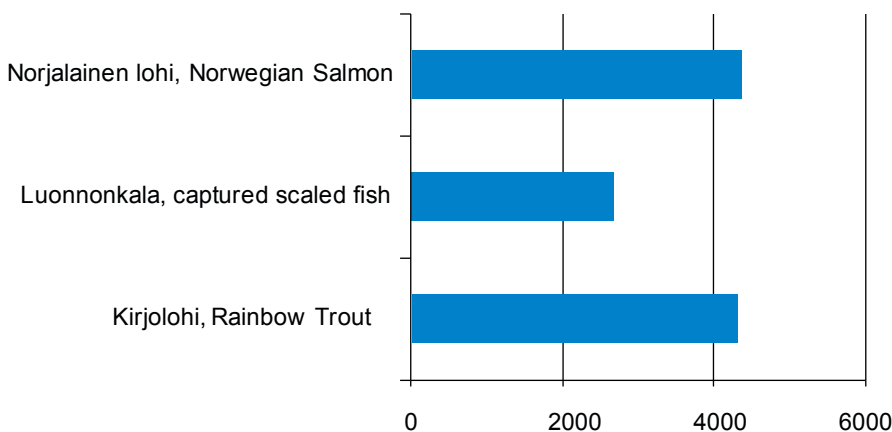
se Suomessa on 60 tonnia (Setälä 2012, suull.) Suomeen verrattuna. Luonnonkalan hiilijalanjäljeksi saatiin fileelle 2672 kgCO₂-ekv/t, hiilijalanjälkeen vaikuttaa huomattavasti kalastustapa ja kertasaaliiden määrä.

Vertailussa kasvatetun kirjolohen ja luonnonkalan välillä on vielä otettava huomioon kalan sisältämät haitalliset aineet. Suuret hauet, ahvenet, mateet ja kuhat sekä eräät tuontikalat saattavat sisältää elohopeaa 0,5-1 mg/kg, jolloin WHO:n saantisuositukset voivat ylittyä, jos kyseistä kalaa syödään 200 grammaa viikossa. Sen sijaan kirjolohen elohopeapitoisuus on pieni (Hallikainen ym. 2010). Eviran suosituksissa kehoitetaan raskaana olevia naisia välttämään hauen syöntiä. Kalastetussa merikalassa on 10 kertaa enemmän dioksiinia kuin Suomessa kasvatetussa kalassa. Järvikalassa dioksiinipitoisuus on alhaisempi kuin merikalassa (Elintarvikevirasto 2005). Myös suomalaisen orgaanisten tinayhdisteiden saanti on huomattavasti suurempi merikalasta kuin Suomessa kasvatetusta kalasta. Lisäksi orgaanisten tinayhdisteiden saanti tuontikalasta voi olla merkittävää (Mankinen 2009).

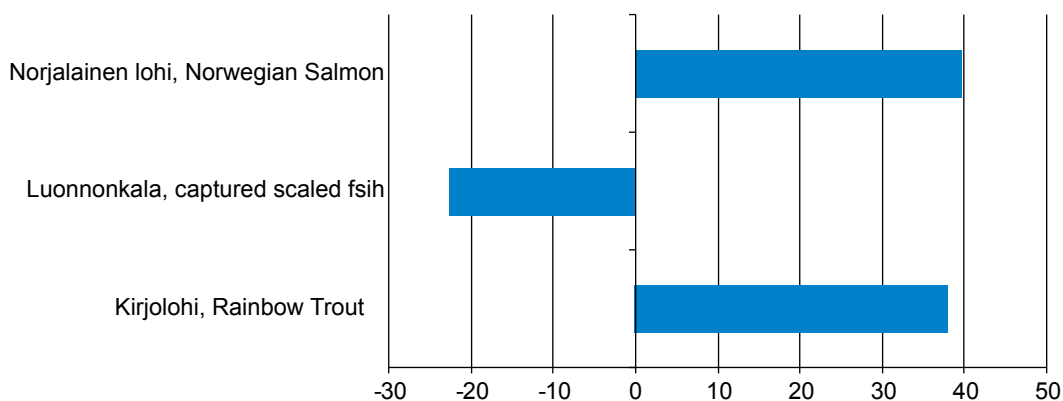
Kirjolohi sisältää kertaluokkaa suuremman määrän EPA- ja DHA-rasvahappoja (Liite 6) verrattuna esimerkiksi hauen, kuhan ja ahvenen (Fimeli 2012)

Norjalaisen lohifileen, kotimaisen kirjolohifileen ja kotimaisen luonnonkalan rehevöittäviä päästöjä on verrattu toisiinsa kuvassa 24. Norjalaisen lohifileen rehevöittävät päästöt ovat suurimmat laskettuna kilogrammoissa päästöjä, mutta johtuen ravinteiden laimentumisesta Atlantilla johtuen asiaan ei ole kiinnitetty Norjassa yhtä paljon huomiota kuin Itämerellä. Luonnonkalan poistuminen puolestaan vähentää ravinteita Itämerestä (Kuva 24). Happamointitavat päästöt olivat kirjolohen tuotantoketjulla suuremmat kuin luonnonkalalla (Kuva 25). Erot norjalaisen lohien ja kotimaisen kirjolohen välillä voivat johtua eroista tutkimusmenetelmissä, sillä tuotantoketjut ovat varsin samantyyppisiä. Suurina osa norjalaisen lohien happamointivälineistä on arvioitu tulevan kalajauhon ja -öljynraaka-ainekalastuksesta (Pelletier ym. 2009).

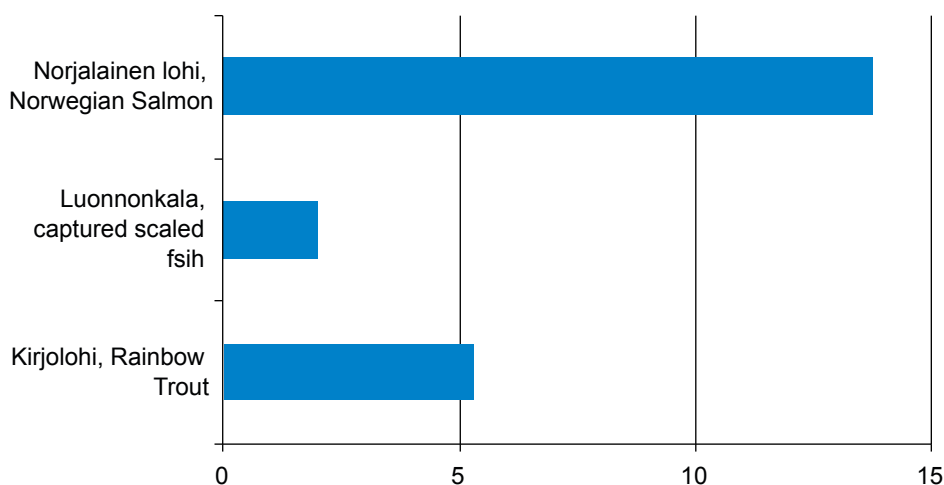
Muista ympäristövaikutuksista suurimman esteen norjalaisen lohituotannon kestävyydelle aiheuttaa lohitaikin (*Lepeophtheirus salmonis*) leviäminen, joka johtuu karkalaisongelmasta. Vuonna 2006 kasvattamoilta karkasi 790 000 lohikalaa (Vuillaume 2007). Sen vaikutukset tuntuvat niin kasvatetuille kaloille kuin villeille kalakannoille. Ongelmana on mm. se, että lohitaikin altistaa kalat myös muille sairauksille. Joissain vuonoissa jopa 15-20 % smolteista menehtyy lohitaikin vaikutuksesta. Atlantin lohien kanta onkin pienentynyt lähes puoleen 1970-luvulta (The Swedish Wire 2009). Norjassa lohitaikin lisäksi ongelmana on luonnonlohen geneettisen perimän vaarantuminen karkalaisongelman takia. (Vuillaume 2007). Yleisesti ottaen maailmalla on todettu, että kalankasvatustilat vaikuttavat haitallisesti läheisiin kalakantoihin, koska luonnonkalat altistuvat erilaisille infektioille (Frazer 2008). Suomessa kotimaisen kalankasvatuksen tautiongelmaa on Evirassa ja sen edeltäjäorganisaatioissa seurattu kalanviljelylaitosten ja Eviran välisessä kalaterveyspalvelussa yli 40 vuoden ajan. Samanaikaisesti on Evirassa tutkittu sekä suuren yleisön lähettämiä että omia projektiluonteisia villien kalojen tautinäytteitä. Tutkimukset eivät ole nimenomaisesti suunniteltuja kalankasvatuksen tautivaikutusten selvittämiseksi. Jos selkeitä vaikutuksia olisi, viitteitä niiden olemassaolosta olisi kuitenkin todennäköisesti saatu. Eviran tutkimuksissa ei ole havaittu selkeitä trendejä tautien lisääntymisestä tai vähenemisestä villeissä kaloissa kalankasvatamojen läheisyydessä vuosien mittaan (Koski 2012).



Kuva 23. Norjalaisen lohifileen, luonnosta pyydystetyn suomukalafileen ja kotimaisen kirjolohifileen hiilijalanjälki kg CO₂-ekv/t fileetä. The carbon footprints of 1 ton skinless rainbow trout, Atlantic Salmon and captured Finnish scaled fish fillet produced in Finland.



Kuva 24. Norjalaisen lohifileen, luonnosta pyydystetyn suomukalfileen ja kotimaisen kirjolohifileen rehevöittävät päästöt, kgPO4-ekv/t kokonaista kalaa. The eutrophication impact of 1 ton skinless rainbow trout fillet, Atlantic Salmon and captured Finnish scaled fish produced in Finland.



Kuva 25. Norjalaisen lohien suomalaisen luonnokalan ja kotimaisen kirjoloheen happamoittavat päästöt, AE-ekv/t kalafileetä. The acidification impact of 1 ton skinless rainbow trout fillet, Atlantic Salmon and captured Finnish scaled fish produced in Finland.

3.7 Kirjoloheen ympäristövaikutukset verrattuna muihin proteiinin lähteisiin

Kirjoloheen kasvatuksen ympäristövaikutuksia vertailtiin kirjallisuudessa esitettyihin tuloksiin liha- ja kasvistuotteiden ympäristövaikutuksista koskien happamoitumista ja rehevöitymistä. Naudanlihan hiilijalanjälki (Taulukko 10) on kirjallisuustietoihin perustuen 3-7 kertaa suurempi kuin kirjoloheen. Sianlihan ja broilerinlihan hiilijalanjälki oli alimmillaan samaa suuruusluokkaa kuin kirjoloheen ja korkeimmillaan. Suurimmillaan sianlihan hiilijalanjälki oli yli kaksi kertaa suurempi kuin kirjoloheen ja broilerinlihan noin 1,5-kertainen kirjoloheen nähden. Taulukon 10 alhaisin arvo broilerinlihalle perustuu laskentaan, jossa mukaan on otettu myös broilerin marinadi, joten sitä ei voi verrata suoraan proteiinitasolla. Härkäpapu- ja soijapihvien hiilijalanjälki oli selvästi matalampi kuin kirjoloheen.

Rehevöittämissä päästöissä kirjoloheannoksen tuotantoketjun päästöt olivat yli kaksinkertaiset naudanlihaan yli 2,5-kertaiset sianlihaan nähden (Taulukko 10), mutta kirjallisuudessa on myös esitetty arvioita, joiden mukaan naudan- ja sianlihan tuotantoketjun rehevöittävät päästöt ovat yli seitsemänkertaiset kirjoloheen nähden. Broilerinlihan tuotantoketjun rehevöittävät päästöt olivat alle viidesosa kirjoloheen tuotantoketjusta. Härkäpapupihvien ja soijapapupihvien tuotantoketjun rehevöittävät päästöt olivat vähäiset.

Verrattuna Seppälän ym. (1999) suorittamaan sian- ja naudanlihan vertailuun todellisia muutoksia naudanlihan ja sianlihan tuotannon ympäristövaikutuksista ei ole todennettavissa. Naudanlihan rehevöittävät päästöt ovat vanhassa tutkimuksessa huomattavasti suuremmat kuin tässä tutkimuksessa johtuen siitä, että tutkimus on tehty pihvilihalle, eikä maidolle ole allokoitu kuormituksia. Pääosa naudanlihasta tuotetaan kuitenkin maitokarjasta, jolloin jolloin elinkaaritutkimuksessa allokointi maidon ja lihan välille on yleensä tehty taloudellisena allokointina. Tällöin pääosa, eli 75-90 %, kuormituksista kohdennetaan kohdentuu maidolle. Maidolle allokoituvien kuormitusten määrä selittää osaltaan taulukon 10 suuren vaihteluvälin naudanlihan elinkaarisissa kuormituksissa. Fysikaalis-

ta allokointia käyttäen on mahdollista, että vain noin 40 % kuormituksia kohdentuu maidolle (Virtanen, Y. suull, 2012), jolloin on mahdollista, että naudanlihafileen elinkaariset rehevöittävät päästöt olisivat jo varsin lähellä kirjolohifileen tuotantoketjun rehevöittäviä päästöjä, kuten Seppälän ym. (1999) tutkimuksessa. Seppälä ym. (1999) esittivät myös varsin suuren vaihteluvälin typpioksiduulipäästöille ja ravinnehuuhtoumille.

Taulukoissa 11 ja 12 on esitetty vaihtoehtoisten elintarviketuotteiden ravintoainesisältö suhteessa 100 grammaan lopputuotetta. Vertailun tekemistä eri elintarviketuotteiden kesken vaikeuttaa tuotteiden erilainen ravintoainesisältö. Laskettaessa ravintoannoksen sisältämään proteiiniin nähden (Taulukko 12) härkäpapuannoksen kuormitukset nousevat suhteellisesti eniten. Käyttämällä energiapitoisuutta toiminnallisena yksikkönä kirjolohen ympäristövaikutukset pienenevät lihatuotteisiin nähden ja verrattaessa taas suhteessa proteiinipitoisuuteen kirjolohiannoksen ympäristövaikutukset kasvavat suhteessa lihatuotteisiin. Broilerinlihan hiilijalanjälki verrattuna kirjolohifileen hiilijalanjälkeen on samaa suuruusluokkaa, kun suhteutetaan kasvihuonekaasupäästöt tuotteiden proteiinipitoisuuteen.

Taulukko 10. Kirjolohen ja vertailtavien elintarviketuotteiden ilmastomuutosvaikutukset sekä rehevöittävät vaikutukset 100 grammaa lopputuotetta kohti. *The carbon footprints and eutrophication impacts of 100g skinless Rainbow trout fillet and some meat and grain products.*

	g CO2-ekv/100g	gPO4-ekv/100g
Kirjolohifilee vähärasvainen, uunissa paistettu Rainbow trout fillet in oven	430	3,8
Härkäpapu + perunasose, Horse beans and potatoes	48	n. 0,10*
Soijapapupihvit, Soybean burger	95,3	0,003
Naudanlihafilee uunissa, Beef in oven	1400-3200	0,5-2,0
Porsaanfilee uunissa, Pork meat in oven	390-1000	0,5 -1,5
Broilerifilee uunissa, Chicken meat in oven	370-690	0,2-0,75

*Annos, jossa härkäpapua ja perunasosetta

Taulukko 11. Kirjolohen ja vertailtavien elintarviketuotteiden sisältämät ravinnepitoisuudet 100g:ssa lopputuotetta. *Contents of energy, fats and protein in 100g of rainbow trout and meat and grain products.*

Product	Energia, kJ Energy	Rasva, g Fats	Proteiini, g Protein
Kirjolohifilee vähärasvainen, uunissa paistettu* Rainbow trout fillet in oven	804	12,8	19,5
Härkäpapu + perunasose** Horse beans and potatoes	460	0,4	7,6
Soijapapupihvit*, Soybean burger	690	8	16
Naudanlihafilee uunissa*, Beef in oven	733	6	30
Porsaanfilee uunissa*, Pork meat in oven	707	6	28
Broilerifilee uunissa*, Chicken meat in oven	598	2	31

*Fineli (<http://www.fineli.fi/foodlist.php?foodname=H%&lang=fi>)

**USDA National Nutrient Database for Standard Reference Release 24 (<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/4746>) mature seeds, cooked

Taulukko 12. Kirjolohen ja vertailtavien elintarviketuotteiden vaikutukset suhteessa 1 kJ:n energiaa ja grammaan proteiinia. *The carbon footprints and eutrophication impacts of rainbow trout fillet and some meat and grain products in relation to 1 kJ energy and one gram of protein.*

	g CO2-ekv/kJ	mg PO4-ekv/kJ	g CO2-ekv/g prot.	mg PO4-ekv/ g prot
Kirjolohifilee vähärasvainen, uunissa paistettu Rainbow trout fillet in oven	0,54	5	22	195
Härkäpapu + perunasose Horse beans and potatoes	0,10	0,22*	6,9	14*
Soijapapupihvit, Soybean burger	0,14	0,004	6,0	0,2
Naudanlihafilee uunissa, Beef in oven	2,0-4,4	0,7-2,7	47-107	17-71
Porsaanfilee uunissa, Pork meat in oven	0,55-1,41	0,7-2,1	14-36	18-43
Broilerifilee uunissa, Chicken meat in oven	0,62-1,15	0,3-1,3	12-22	7-25

* Annos, jossa härkäpapua ja perunasosetta

Rasvojen, proteiinien ja energian lisäksi ihminen tarvitsee paljon erilaisia ravintoaineita, joiden huomioiminen on myös tärkeää vertailtaessa eri elintarviketuotteita keskenään. Kalatuotteet sisältävät erilaisia välttämättömiä rasvahappoja, joista saantisuosituksia on annettu linolihapolle (LA) ja alfa-linoleenihapolle (ALA) (alfa-linoleenihappo). Näiden lisäksi kirjolohi sisältää runsaasti EPA- ja DHA-rasvahappoja, jotka ovat erittäin terveellisiä (Taulukko 13). Ravitsemustutkimuksissa yksilöiden välillä on todettu suuria eroja rasvahappoaineenvaihdunnassa, erityisesti kyvyssä muuntaa välttämättömiä rasvahappoja pitkäketjuisiksi johdannaisiksi, joten hyödylliset vaikutukset ovat yksilöllisiä AA (arakiidonihappo), EPA (eikosapentaenihappo) ja DHA (dokosaheksaenihappo). Lisäksi rasvahappojen on osoitettu vaikuttavan esim. lasten älykkyydosamäärään (Morales ym. 2011).

Perimän vuoksi osa ihmisistä voi hyvin pelkällä kasviravinnolla, jos he syövät riittävästi LAA ja ALAA sisältäviä kasveja ja kasviöljyjä. Eri yksilöt tarvitsevat erilaisia määriä LAA, ALAA tai AAa, EPAa ja DHAa. Myös muunnosketjujen välimuotorasvahapot, mm. gammalinoleenihappo (GLA) ja stearidonihappo (SDA) saattavat olla tarpeen joillekin yksilöille, koska AA, EPA ja DHA eivät voi korvata LAA ja ALAAa. Osa ihmisistä tarvitsee myös kalaa tai kalaöljyjä ja osa ehkä vielä GLA/SDA täydennystä. Suomalaisen väestön geenejä ei ole tältä osin tutkittu, mutta Simopouloksen (2010) mukaan joissain väestöryhmissä jopa 30 %:lla on huonosti toimivia desaturaaivariantteja.

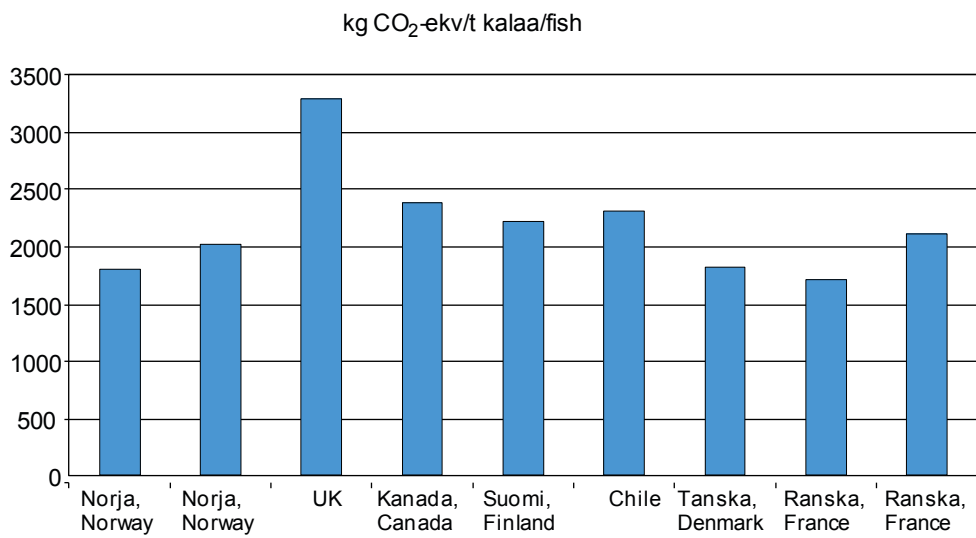
Jos vertailuannosten välttämättömien rasvahappojen määrät haluttaisiin vertailukelpoisiksi, niihin voitaisiin lisätä pieni määrä rypsiöljyä, mikä lisäisi tällöin härkäpapuannoksen hiilijalanjälkeä alle 10 % ja liha-annosten laskennallisia ympäristökuormituksia muutaman prosentin.

Taulukko 13. Kirjolohen ja vertailtavien elintarviketuotteiden sisältämät tärkeimpien omega-3- ja omega-6 rasvahappojen pitoisuudet, mg/100g lopputuotetta. *Contents of omega3- and omega6- acids mg/ 100g of rainbow trout and meat and grain products.*

	LA	ALA	EPA	DHA
Kirjolohifilee vähärasvainen, uunissa paistettu Rainbow trout fillet in oven	639	120	431	1283
Härkäpapu + perunasose Horse beans and potatoes	152	285		
Soijapapupihvit, soybean burger	5256	747		
Broilerifilee uunissa, Chicken meat in oven		33	8	
Porsaanfilee uunissa, Pork meat in oven		90	9	5
Naudanlihafilee uunissa, Beef in oven		13		27

3.8 Vertailua muihin tutkimuksiin

Vertailussa laajaan norjalaiseen selvitykseen erilaisten kalatuotteiden hiilijalanjäljistä (Winther ym. 2009) oli tulokset saatu hiilijalanjälki (4314 kgCO₂-ekv/t) kyseisen tutkimuksen tuloksista (3530 kgCO₂-ekv/t) selvästi suurempi. Tulos johtuu osittain siitä, että norjalaisella lohella on parempi fileesaanto ja siitä, että tässä norjalaisen tutkimuksen arvo kalajauhon ja -öljyn raaka-aineen kalastukselle on alempi. Kuva 26 osoittaa vaihteluvälin hiilijalanjäljissä verrattuna maailmalla tehtyihin kirjolohen ja lohien hiilijalanjälkitutkimuksiin, kun kyseessä on kokonainen kala (Winther ym. 2009, Ellingsen ym.2006, Pelletier ym. 2009, LCAfood 2011, Papatryphon ym. 2004). Verrattuna esimerkiksi Tanskassa tehtyyn kirjolohenkasvatukseen elinkaariselvitykseen, on kokonaisen kalan hiilijalanjälki (Tanska 1800, Suomi 2058) ja fileen (Tanska pakastettu 4090, Suomi filee 4092) samaa suuruusluokkaa. Toisaalta Tyedmersin (2004) mukaan kalastuksen polttoaineenkulutus voisi olla vieläkin korkeampi kuin se mitä tässä tutkimuksessa on käytetty, ja laskettuna kalastuksen polttoaineenkulutuksella arvolla 100 l/t hiilijalanjälki olisi jopa 4557 kg/t. Myös norjalaiselle lohelle tehdyssä tutkimuksessa (Winther ym. 2009) on käytetty huomattavasti alhaisempaa arvoa kalastuksen polttoaineen kulutukselle. Kokonaisen kirjolohen tai lohien keskimääräinen hiilijalanjälki maailmalla on lähteen Pelletier ym. (2009) mukaan 2160 kgCO₂-ekv/t, kun tässä tutkimuksessa tulos oli 2209 kgCO₂-ekv/t. Allokoinnissa LCA Foodin tutkimuksessa on käytetty systeemin laajennusta koskien kalajauhon ja -öljyn tuotantoa. Vanhaan tutkimukseen (Seppälä ym. 2001) saatiin polttoaineenkulutuksesta arvio suoraan yhdeltä kalajauhon toimittajalta, mutta on huomioitava, että arvio perustui tuolloin vain yhteen toimittajaan. Luonnonkalojen osalta tässä tutkimuksessa käytetty polttoaineenkulutus kalastuksessa oli noin 300 l/t, kun esimerkiksi tonnikalan kalastuksesta on esitetty vaihteluväli 373-527 l/t (Hospido & Tyedmers 2005).



Kuva 26. Kokonaisen lohen ja kirjolohen hiilijalanjälkilaskentojen tuloksia eri maissa. *Carbon footprints of salmon and rainbow trout in different countries, kgCO₂-eq/t roundfish.*

4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuksen pääasiallisena tavoitteena oli päivittää vuosina 1999-2001 tehdyn kirjolohen elinkaariin ympäristövaikutuksiin liittyvän tutkimuksen (Seppälä et al. 2001.) tulokset, joista rehukerroin ja siihen liittyvät vuoden 2002 tilannetta kuvaavat päivitykset julkaistiin raportissa Silvenius & Grönroos (2003). Seppälä et al. (2001) tutkimuksessa pääpaino oli rehevöitymisessä, mutta tässä tutkimuksessa keskityttiin myös ilmastovaikutuksen mallintamiseen.

Rehunkulutusmäärä suhteessa tuotettuun kalamäärään (rehukerroin) on laskenut viimeisen kymmenen vuoden aikana. Vuoden 2002 tilanteessa rehukerroin, joka kuvaa kulutetun rehun määrää suhteessa lisäkasvuun, oli 1,255, kun Lounais-Suomen ympäristökeskuksen tilastojen mukainen rehukerroin vuonna 2009 oli keskimäärin 1,11.

Jotkut todelliset ympäristövaikutusmuutokset jouduttiin arvioimaan suuruusluokkatasolla, koska tiedon tarkkuus vaihteli vuosituhannen alussa ja nyt tehdyissä tutkimuksissa. Hiilijalanjälki oli pienentynyt 9 %, rehevöittävät päästöt 26 %, happamoittavat päästöt 15 %, alailmakehän otsoniin vaikuttavat päästöt 8 % ja primaarienergian kulutus arviolta 5 %.

Rehun valmistusprosessissa hiilijalanjälki oli pienentynyt. Kalajauhon ja öljyn raaka-aineiden kalastuksesta käytössä oli nyt tietokantatietoja koskien keskimääristä teollisuuskalan kalastusta (LCAFood 2011), joka oli kaksinkertainen suhteessa kymmenen vuoden takaiseen arvoon, mutta todellisesta muutoksesta kalaraaka-aineen kalastuksessa ei todennäköisesti ole ollut kyse. Kymmenen vuoden takaisen tutkimuksen aikoihin tietoja soijan viljelystä oli minimaalisesti, eikä kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa huomioitu maankäytön muutoksia ja typpioksiduuliemissioita, kun taas nyt soijan viljelystä oli saatavilla sekä tietokantatietoja että tieteellisiä artikkeleita. Soijan viljelyn kasvihuonekaasu- ja happamoittavat päästöt osoittautuvatkin kertaluokkaa suuremmiksi kuin edellisen tutkimuksen aikoihin.

Tutkittaessa erilaisten vaihtoehtojen rehevöittäviä päästöjä todettiin, että Itämeren kalan käyttäminen kirjolohen kalaperäisten rehujakeiden raaka-aineena pienentää eniten päästöjä eikä johda hiilijalanjäljen kasvuun. Myös kiertovesilaitosten rehevöittävä kuormitus on pieni ja tulos saattaa olla vielä parempi, jos poistovesi johdetaan edelleen jäteveden käsittelyyn. Lisäksi kiertovesilaitoksen hiilijalanjälki pienenee, jos kiertovesilaitoksessa käytetään vihreää sähköä tai teollisuuden hukkalämpöä. Jos siirrytään käyttämään kokonaan vähäfosforista fytaasia sisältävää soijajajohjaista rehua, saadaan rehevöittäviä päästöjä vähennettyä nykytilanteesta 4,5 %. On huomattava, että jo huomattava osa tällä hetkellä käytössä olevasta rehusta on vähäfosforista.

Verrattaessa kotimaassa kasvatettua kirjolohta ja Norjassa kasvatettua lohta varsinaiset kuormitukset kokonaista kalaa kohti olivat samaa suuruusluokkaa. Rehun koostumuksesta johtuen rehevöittävät päästöt olivat norjalaisella lohellalla hieman suuremmat kuin kotimaisella, mutta niiden vaikutukset jäävät taas pienemmiksi johtuen erilaisesta vaikutusympäristöstä. Tämä johtuu siitä, että Itämeri on matala ja herkkä rehevöitymiselle. Kuitenkin kalankasvatus on päässyt sille astettuihin tavoitteisiin kuormituksen pienentämiseksi ja kuormitus on seitsemässä vuodessa pienentynyt 26 %. Kalankasvatuksen osuus Suomen ravinnekuormituksesta oli vuonna 2008 fosforin osalta 2 % ja typpikuormituksen osalta noin 0,9 %, kun taas maatalouden osuus fosforikuormituksista oli 67,9 % ja typpikuormituksesta 53,2 %.

Toisaalta taas norjalaisen lohen tuotantoon liittyviä ympäristöhaittatekijöitä ovat karkulaisongelma, lohityn leviäminen, kalataudit ja luonnonlohen geneettisen perimän heikkeneminen, mitä vastaavalla tavalla ei Suomessa kirjolohentuotannossa esiinny. Hiilijalanjälki kokonaisuudessaan oli samaa suuruusluokkaa, mutta fileelle kotimaisen kirjolohen hiilijalanjälki oli hieman korkeampi johtuen norjalaisen lohen korkeammasta fileesaannosta, toisaalta arvolla allokoituna kirjolohen mäti laskee kirjolohen fileelle allokoitua hiilijalanjälkiosuutta.

Vertailussa kotimaiseen luonnonkalaan havaittiin, että jatkotutkimuksia kaivataan, jotta saataisiin määritettyä luotettavasti luonnonkalan kuljetusten ja kalastuksen kasvihuonekaasupäästöt vaihteluvälineen. Tässä tutkimuksessa tehdyn arvion mukaan vertailussa olleiden luonnonkalafileen hiilijalanjälki oli pienempi kuin kasvatetun kirjolohen, mutta hiilijalanjälki vaihtelee saalis- ja kuljetuserän ja kuljetusmatkojen poikkeavuuden johdosta niin paljon, että luonnonkalan hiilijalanjäljen voidaan katsoa olevan toimituseräkohtaista. Polttoainekulutus on suomakalojen kalastuksessa suurempi kuin kalankasvatukseen liittyvissä venekuljetuksissa, mutta rehun tuotantoprosessin pitkä tuotantoketju tekee kasvatetun kalan hiilijalanjäljestä suuremman. Vertailussa luonnonkalaan tulee myös ottaa huomioon kirjolohifileen korkeammat EPA- ja DHA-rasvahappopitoisuudet.

Vertailuissa sian-, naudan- ja broilerinlihaan sekä soija- ja härkäpapuun havaittiin, että kirjolohifileen rehevöittävät päästöt olivat suuremmat ja kasvihuonekaasupäästöt pienemmät kuin vertailluilla lihatuotteilla käytettäessä vertai-

lutietoina eri puolilla maailmaa tehtyjä tutkimuksia. Tässäkin vertailussa on huomioitava se, että vaikka tässä tutkimuksessa laskettiin skenaarioita, joissa otettiin huomioon lihatuotteiden pienempi omega3-rasvahappopitoisuus, sisältää kirjolohi kuitenkin monille ihmisille välttämättömiä EPA- ja DHA-rasvahappoja. Tulokset suhteutettiin nyt annosten massan lisäksi proteiini- ja energiapitoisuuksiin, mutta elinkaariarvioinnissa ei toistaiseksi ole kehitetty menetelmää näiden rasvahappojen merkittävyyden arviointiin.



Kuva: Suomen Kalankasvattajaliitto ry

5 Lähdeluettelo

- Berntrupp, F. 2010. Yara Oy Kirjallinen tiedonanto 5.3.2010..
- Cederberg C., Sonesson, U., Henriksson, M., Sund, V. & Davis, J. 2009. Greenhouse gas emissions from Swedish production of meat, milk and eggs 1990 and 2005. SIK Report Nr 793.
- Cederberg, C. & Darelius K. 2000. Livscykelanalys (LCA) av nötkött – en studie av olika produktionsformer. Naturresurforum, Landstiget Halland, Halmstad.
- da Silva, V. P., van der Werf, H. M. G., Spies, A. & Soares, S. R. 2010. Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. *Journal of Environmental Management* 91(2010):1831-1839
- Dalgaard, Schmidt, J. Halberg, N., Christensen, P., Thrane, M., & Pengue, W. A. 2008. LCA of soybean Meal. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13 (3) 240 – 254 (2008).
- Döhler H., Dämmgen U., Eurich-Menden B., Osterburg B., Lüttich M., Berg W., Bergschmidt A., Brunsch R. (2002): Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien sowie Erfassung und Prognose der Ammoniak-Emissionen der deutschen Landwirtschaft und Szenarien zu deren Minderung bis zum Jahre 2010. UBA-Texte 05/02
- Elintarvikevirasto 2005. Eviran Internet-sivut, dioksiinin saanti. [http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/elintarviketietoa/vierasaineet/dioksiinin_saanti]
- Ellingsen, H. & Aanondsen S. 2006. Environmental Impacts of Wild Caught Cod and Farmed Salmon – A Comparison with Chicken. SINTEF Fisheries and Aquaculture, Norway. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 1: 60-65.
- Evira2011a http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/tietoa_elintarvikkeista/elintarvikevaarat/elintarvikkeiden_kayton_rajoitukset/kalan_syontisuositukset/
- Evira 2011b. http://www.evira.fi/files/attachments/fi/elaimet/rehut/tilastot/laakerehut_kalat.pdf
- Evira 2011c. http://www.evira.fi/files/attachments/fi/elaimet/rehut/tilastot/laakerehut_kalat_tuonti.pdf
- FAO (2011) International commodity prices <http://www.fao.org/es/esc/prices> (viitattu: 12.10.2011)
- Fineli 2012. <http://www.fineli.fi/>
- Fortum Oil and gas 2002. Ekotasetiedote 1.3.2002
- Frazer 2008. Personal comment in article Ocean Fish Farming Harms Wild Fish, Study Says. *Science Daily* (Dec 15, 2008)
- Frischknecht, R, Tuchschnid, M., Emmenegger, F.,M.,Bauer, C., Dones, R. 2007. Strommix und Stromnetz. Sachbilanzen von Energiesystemen. Final report No. 6 Ecoinvent data v2.0. Dübendorf and Villigen, CH. Swiss Centre for LCI, PSI
- Grisso, R, Perumpral, J. ja Zoz, F. 2007. Spreadsheet for matching tractors and drawn implements. *Applied Engineering in Agriculture*, Vol. 23(3): 259-265, American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0883-8542
- Grönroos, J., Katajajuuri, J.-M., Usva, K., Virtanen, Y., Venäläinen, E., Kurppa, S., Tanskanen, R., Mattila, T. & Virtanen, H. 2008. Broilerinlihan elinkaariarviointi, Maataloustieteen päivät 2008. Suomen ympäristökeskus ja Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus.
- Hallikainen, A. Rautala T., Karlström, U., Kostamo, P, Koivisto, P, Pohjanvirta, R., Hietaniemi, V., Rajakangas, L., Tuomaala, V., Kankaanpää, H., Verta, M., Kostainen, E., Kurttio, P., Turtiainen, T., Kiviranta, H., Komulainen, H., Rantakokko, P., Viluksela, M., Niemi, E., Nuotio K. & i Siivinen, K. 2010. Elintarvikkeiden ja talousveden kemialliset vaarat. *Eviran julkaisuja* 15/2010.
- Halme, K. 2011. Matti Halme Oy. Suullinen tiedonanto 6.5.2011
- Hartikainen, H. 2011. Allokointimenettelyt elintarvikkeiden elinkaariarvioinneissa. Pro gradu – tutkielma. Taloustieteen laitos, Maa- ja metsätaloustieteen tiedekunta, Helsingin yliopisto
- Hauschild, M., Bastrup-Birk, A., Hertel, O., Schöpp, W. & Potting, J. 2004. Photochemical ozone formation. Teoksessa: Potting, J. & Hauschild, M. (toim.). 2004. Background for spatial differentiation in life cycle assessment – the EDIP 2003 methodology. Institute of Product Development, Copenhagen. *Environmental news* 80.
- Hospido, A. & Tyedmers, P. 2005. Life cycle environmental impacts of Spanish tuna fisheries. *Fisheries Research* 76(2005)174-186.
- ILCD-käsikirja (2010) International Reference Life Cycle Data System, General guide for Life Cycle Assessment – Detailed guidance, First edition, JRC, European Commission, European Union 2010
- IPCC 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use, IPCC-NGGIP Publications. Saatavissa: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- ISO 14040 (2006) (SFS-EN ISO) Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet, Suomen Standardisoimisliitto SFS, Standardi, Joulukuu 2006
- ISO 14044 (2006) (SFS-EN ISO) Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja, Suomen Standardisoimisliitto SFS, Standardi, Joulukuu 2006
- Jungbluth N., Chudacoff M., Dauriat A., Dinkel F., Doka G., Faist Emmenegger M., Gnansounou E., Kljun N., Spielmann M., Stettler C., Sutter J. 2007. Life Cycle Inventories of Bioenergy. Final report Ecoinvent data v2.0. Dübendorf and Uster, CH. Swiss Centre for LCI, ESU

- Juostas, A. & Janulevičius, A. 2008. Investigation of tractor engine power and economical working conditions utilization during transport operation. Research Journal of Vilnius Gediminas Technical University and Lithuanian Academy of Sciences. TRANSPORT. ISSN 1648-4142 print / ISSN 1648-3480 online. Lithuanian University of Agriculture, Studentų g. 15, LT-53361 Kaunas-Akademija, Lithuania
- Kalanviljely 1998. Riistan- ja kalantutkimus, Ympäristö 1999:2
- Kallioniemi, H. 2009. Lounais-Suomen ympäristökeskus. Kirjallinen tiedonanto 7.8.2009
- Kallioniemi, H. 2010. Lounais-Suomen ympäristökeskus Kirjallinen tiedonanto 13.8.2010.
- Kankainen, M., Pirilä, J. & Setälä, J. 2007. Järkevä sijainninhjaus lisää myös kasvatuksen kannattavuutta. Suomen Kalankasvattaja - Fiskodlaren 3/2007:52.
- Kansallinen vesiviljelyohjelma 2015. Valtioneuvoston periaatepäätös.
- Koski, P. 2012. Evira. Kirjallinen tiedonanto 11.4.2012.
- Lankinen, Y. 2011. Savon Taimen oy Asiantuntijalausunto 13.1.2011
- Latvala, A., Kääriä, K. & Loisa, O. 2006. Perkausjätevesien jätevesikuormitus ja -käsittely pienillä kalankasvatuslaitoksilla. Turun ammattikorkeakoulun puheenvuoroja 26. Turun ammattikorkeakoulu, Turku 2006.
- Lerche, O. 2012a. Suullinen tiedonanto 26.3.2012
- Lerche, 2012b. Kirjallinen tiedonanto 17.4.2012
- LCA Food 2011 <http://www.lcafood.dk/> 5.10.2011. LCA Food Database
- Mankinen K. 2009. Itämeren kalasta ja järvi- sekä tuontikalasta Suomessa 2000-luvulla mitatut organotinapitoisuudet ja niiden saantilaskelmat, Pro Gradu-tutkielma, Helsingin yliopiston ympäristöekologian laitos.
- Morales E, Bustamante M, Gonzales JR ym. 2011. Genetic Variants of the FADS Gene Cluster and ELOVL Gene Family, Colostrums LC-PUFA levels, Breastfeeding, and Child Cognition. Plos ONE 6(2): e17181 (DOI: 10.1371/journal.pone0017181)
- Mäkelä, K. 2008. TYKO 2007 Suomen työkoneiden päästölaskentajärjestelmän tulostiedosto. 2008 päivitetty versio mallista Mäkelä, K. Tuominen, A. ja Rusila, K. (2000). TYKO 1999 Työkoneiden päästömalli. VTT Yhdyskuntatekniikka. Tutkimusraportti 546/2000. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/tyko/malli.htm>
- Naukkarinen, M. 2011. Asiantuntijalausunnot 23.3.2011 ja 2.9.2011.
- Nurmi, E. 2010. Suomen ympäristökeskus. Kirjallinen tiedonanto 4.8.2010.
- Papatryphon, E., Petit, J., van der Werf, H., 2004. The development of life cycle assessment for the evaluation of rainbow trout farming in France. In: Halberg, N. (Ed.), Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector. Proceedings from the 4th International Conference. Danish Institute of Agricultural Sciences, Horsens, Denmark, s. 73–80.
- PCR Basic Module (2010a) CPC Division 04: Fish and other fishing products, The International EPD system, Version 1.1 dated 2010-08-31
- Pelletier, N., Tyedmers, P., Sonelsson, U., Scholz, A., Ziegler, F., Flysjö, 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.
- Puttonen 2011. Taimen oy. Kirjallinen tiedonanto 17.6.2011
- Saarinen, M., Kurppa, S., Nissinen, A. & Mäkelä, J. (toimittajat) 2011. Aterioiden ja asumisen valinnat kulutuksen ympäristövaikutuksen ytimessä. ConsEnv-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristö 14/2011. Helsinki. Ympäristöministeriö
- Salminen, R. 2011. Sybimar Oy. Kirjallinen tiedonanto 18.4.2011.
- Saraste, K.- L. 2012. Evira. Kirjallinen tiedonanto 12.4.2012
- Schau, E. 2011 Kirjallinen tiedonanto 23.11.2011.
- Schau E. M., Magerholm Fet A. (2008) LCA Studies of Food Products as Background for Environmental Product Declarations, The International Journal of Life Cycle Assessment 13 (3) 255-264
- Seppälä, J., Silvenius, F., Grönroos, J., Mäkinen, T., Silvo, K. & Storhammar, E. 2001. Kirjoloihen tuotanto ja ympäristö. Suomen ympäristö 529. 164 s.
- Seppälä, J., Posch, M., Johansson, M. & Hettelingh, J-P. 2006. Country-dependent characterisation factors for acidification and terrestrial eutrophication based on accumulated exceedance as an impact category indicator. International journal of life cycle assessment 11(6): 403-416.
- Seppälä, J., Knuuttila, S. & Silvo, K. 2004. Eutrophication of aquatic ecosystems. A new method for calculating the potential contributions of nitrogen and phosphorus. International journal of life cycle assessment 9(2): 90-100.
- Setälä, J., Kankainen, M., Norrdahl, O., 2009. Varsinais- Suomen kalankasvattajien näkemyksiä vesiviljelyn uusista ympäristöohjauksivaihtoehdoista. Riista- ja kalatalous – Selvityksiä. Nro 16. 15 s.
- SFT 1998. Environmentally Sound Aquaculture. Final report. Statens forurensningstilsyn. December 1998.
- Silvenius, F. & Grönroos, J. 2003. Fish farming and the environment. Results of inventory analysis. Suomen ympäristökeskuksen moniste 276, 71 s. URN:ISBN:952111374X, ISBN 952-11-1374-X (pdf). <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=78395&lan=en&clan=fi>
- Simopoulos A.P. 2010. Genetic variants in the metabolism of omega-6 and omega-3 fatty acids: their role in the

- determination of nutritional requirements and chronic disease risk. A minireview. *Exp. Biol. Med.* 235: 785-795 (DOI: 10.1258/ebm.2010.009298)
- Sonesson, U., Cederberg, C. & Berglund, M. 2009. Greenhouse gas emissions in beef production. Decision support for climate certification. *Klimatmärkning för mat*. Report 2009:4.
- 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. *International Journal of Life Cycle Assessment* 16(6):512-521.
- SVT 2000. Kalanviljely vuonna 1999. Riista- ja kalantutkimus. *SVT Maa-, metsä- ja kalatalous*. Ympäristö 2000:8.
- The Swedish wire 2009. Norwegian Salmon threatened by lice. *AFP/Swedish Wire* 25.12.2009. <http://www.swedish-wire.com/nordic/2226-norwegian-salmon-threatened-by-lice>.
- Tilastokeskus 2007. Polttoaineluokitus. Verkkojulkaisu. Saatavissa: http://www.tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html
- Tyedmers, P. (2004). Fisheries and energy use. In C. Cleveland (Ed.), *Encyclopedia of energy*, (pp. 683-693). New York: Elsevier.
- Uotila, J. 1991. Metal Contents and Spread of Fish Farming Sludge in South-western Finland. *Marine Aquaculture and Environment*. Mäkinen, T. (Ed.). Nord 1991:22. Nordic council of Ministers, Copenhagen, 1991, s. 121-126.
- Vesiviljely 2009. Suomen virallinen tilasto. Maa- metsä ja kalatalous. Riista- ja kalatalous tilastoja 5/2010. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki 2010.
- Vesiviljely 2010. Suomen virallinen tilasto. Maa- metsä ja kalatalous. Riista- ja kalatalous tilastoja 5/2011. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki 2010.
- Vielma, J., Koskela J., Norrdahl, O. & Jokelainen, T. Fytaasin hyödyt kirjolohen ruokinnassa. Rehuraision kasvatuskoe Rymättylässä 2008.
- Vihervuori A., 2011 (toim.) http://www.rkti.fi/tilastot/talous_markkinatilastot/kalan_kulutus/kalan_kulutus.html.
- De Vries, M. & de Boer, I.J.M. 2010. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of lifecycle assessments: A review of life cycle assessments. *Livestock Science*, Volume 128, Issues 1-3, March 2010, Pages 1-11
- Vuillaume, W. 2007. Escapes from Norway's fish farms threaten wild salmon. *Terra daily*. http://www.terradaily.com/reports/Escapes_From_Norways_Fish_Farms_Threaten_Wild_Salmon_999.html.
- Welin, T. 2008. Nordkalk oy. Kirjallinen tiedonanto 9.9.2008
- WHO 1990. Environmental Health Criteria 101. Methylmercury, WHO Geneva 1990
- 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. Available: http://www.sintef.no/upload/Fiskeri_og_havbruk/Internasjonalt_R%C3%A5dgivning/2009_Carbon%20footprint%20of%20seafood%20products.pdf
- Virtanen, Y. 2012. MTT. Suullinentiedonanto 23.5.2012
- WRI/WBCSD (2011) Greenhouse Gas Protocol, Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard, World Resources Institute, WBCSD

6 Liitteet

Liite 1. Vertailu raportin Silvenius & Grönroos (2003) tutkimustuloksiin vuodelta 2002.

Appendix 1. A comparison to original results of LCA of rainbow trout farming in 2002 (Silvenius & Grönroos2003).

	2002	2002 päivitetty, updated	2009
Hiihijalanjälki, CO2-ekv, kg/t kok. kalaa Carbon footprint	846	2208	2084
Rehevöittävä vaikutus PO4-ekv, kg/t kok. kalaa Eutrophication	50	50	38
Happamoittava vaikutus AE-ekv, kg/t kok. kalaa Acidification	2,00	3,45	2,73
Alailmakehän otsoni Tropospheric ozone formation	3,89	5,92	4,78
Primaarienergian kulutus, MJ/t kokonaista kalaa Primary energy	32570	37249	29909

Liite 2. Proteiinipitoisuuksiltaan yhden mukaiset ruoka-annokset

Appendix 2. Servings with equal protein contents

Aiemmin tekstissä esitettyjen taulukoiden 10 ja 11 perusteella on arvioitu toisiinsa vertailukelpoiset annokset tuotteiden proteiinipitoisuuden mukaan. Kirjolohiannokseen verrattavat annokset sisälsivät härkäpapua, valkoista papua, soijapapua, sekä naudan-, sian- ja broilerilihaa. Koska annokset sisälsivät erisuuruisen määrän omega 3- rasvahappoja, korjattiin tämä rypsiöljylisäyksellä. Erityisen paljon vertailu muuttaa tuloksia härkäpavun osalta, koska sen proteiinipitoisuus on pienen tutkituista vaihtoehdoista.

Taulukko 1. Proteiinipitoisuuksiltaan yhdenmukaistetut ruoka-annokset, jotka sisälsivät suosituksen mukaisen määrän välttämättömiä rasvahappoja.

Protein contents of the servings equalized and omega3-acids equalized by adding canola oil.

Annos 1, Serving 1	
Kirjolohi, Rainbow trout	150g
Annos 2, Serving 2	
Härkäpapu, Horse beans	382g
Rypsiöljy, Canola oil	10g
Annos 3, Serving 3	
Soijapapu, Soybeans	180g
Annos 4, Serving 4	
Naudanliha, Beef	100g
Rypsiöljy, Canola oil	10g
Annos 5, Serving 5	
Sianliha, Pork	100g
Rypsiöljy, Canola oil	10g
Annos 6, Serving 6	
Broilerinliha, Chicken meat	100g
Rypsiöljy, Canola oil	10g

Liite 3. Kirjolohiannoksen ja verrokkiannosten rasvahappopitoisuudet

Appendix 3. Fat acid contents of rainbow trout and investigate meat and crop products

Taulukko 2. Rasvahappopitoisuudet

Contents of fat acids

Elintarvike	SAFA g	MUFA g	PUFA g	LA mg	ALA mg	EPA mg	DHA mg	kol. mg	ster. mg
		cis		18:2 n-6	18:3 n-3	20:5 n-3	22:6 n-3		
Kirjolohifilee vähärasvainen, uunissa paistettu Rainbow trout fillet in oven	3,07	6,84	4,6	959	180	647	1924	94	0
Soijapapu keitinvesi suolaton, Soybeans	2,19	0,89	7,45	9460	1345	0	0	0	100
härkäpapu, Horse beans	0,25	0,30	0,62	581	46				
Rypsiöljy, Canola oil	0,57	5,96	3,30	2210	1090	0	0	0	70
Yht. Together	0,82	6,27	3,93	2790	1130				
broilerifilee uunissa chicken fillet in oven	0,3	0,4	0,4	227	13	0	27		
rypsiöljy, Canola oil	0,57	5,96	3,3	2210	1090	0	0	0	70
Yht. Together	0,8726	6,3637	3,701	2435	1101				
porsaanfilee uunissa, pork fillet in oven	2,2	2,4	0,8	154	90	9	5		
rypsiöljy, Canola oil	0,57	5,96	3,3	2210	1090	0	0	0	70
Yht. Together	2,77	8,36	4,10	2360	1180				
naudanfilee uunissa Beef in oven	2,8	2,3	0,6	164	33	8			
rypsiöljy, Canola oil	0,57	5,96	3,30	2210	1090	0	0	0	70
Yht. Together	3,37	8,26	3,90	2370	1120				

SAFA = tyydyttyneet rasvahapot saturated fatty acids, MUFA = yksinkertaisesti tyydyttymättömät rasvahapot monounsaturated fatty acids, PUFA = monityydyttymättömät rasvahapot polyunsaturated fatty acids, LA = linolihappo linoleic acid (18:2 Ω-6, välttämätön rasvahappo essential fatty acid), ALA = alfa-linoleenihappo alpha-linolenic acid (18:3 Ω-3, välttämätön rasvahappo essential fatty acid), EPA = eikosapentaeenihappo eicosapentaenoic acid (20:5 Ω-3), DHA = dokosaheksaeenihappo docosahexaenoic acid (22:6 Ω-3)

Liite 4. Kirjolohiannoksen ja verrokkiannoksen kivennäisainepitoisuudet

Appendix 4. Mineral contents of the servings

Taulukko 3. Kivennäisaineet 1

Minerals 1.

Elintarvike	Määrä, g	Natrium mg	Kalsium mg Calcium	Kalium mg Potassium	Magnesium mg
Kirjolohifilee vähärasvainen, uunissa paistettu Rainbow trout fillet in oven	150	766	229	733	44
Soijapapu keitinvesi suolaton, Soybean burger	180	5	136	1401,3	182
Härkäpapu, Horse beans	382	19	138	1024	164
Broilerifilee uunissa, Chicken fillet in oven	100	103	213	35	
Porsaanfilee uunissa, Pork fillet in oven	100	469	11	375	27
Naudanlihafilee uunissa, Beef in oven	100	441	9	552	39

Taulukko 4. Kivennäisaineet 2

Minerals 2.

	Fosfori mg Phosphorus	Rauta mg Iron	Sinkki mg Zinc	Jodidi µg Iodide	Seleeni µg, Selenium
Kirjolohifilee vähärasvainen, uunissa paistettu Rainbow trout fillet in oven	455	0,7	0,8	82	24
Soijapapu keitinvesi suolaton, Soybean burger	378	6,8	0,8	4,9	15,4
Härkäpapu, Horse beans	478	5,7	3,9		
Broilerifilee uunissa, Chicken fillet in oven	213	0,9	1,6	8	17,3
Porsaanfilee uunissa, Pork fillet in oven	215	0,8	2,1	25,8	26,8
Naudanlihafilee uunissa, Beef in oven	312	3,7	5,5	26	22,3

Liite 4. Kirjolohiannoksen ja verrokkiannoksen hiilihydraattipitoisuudet

Appendix 4. Carbohydrates of the servings

Taulukko 5. Hiilihydraatit. Naudan-, broilerin ja porsaanfileessä ei ole hiilihydraatteja

Carbohydrates. Meat products contain no carbohydrates.

Elintarvike Food	Määrä, g Amount	orgaaniset hapot g Organic acids	Tärkkelys g Starch	Sokerit g Sugars	Sakkarooosi g Sucrose	Laktoosi g Lactose
Kirjolohifilee vähärasvainen, uunissa paistettu Rainbow trout fillet in oven	150	N/A	0	0	0	0
Soijapapu keitinvesi suolaton Soybeans	180	0	3,89	4,455	3,888	0
Härkäpapu, keitetty Horse beans, cooked	382	0	75,63	6,95	0	
Rypsiöljy Canola oil	10	N/A	0	0	0	0
Yhteensä		0	102,91	6,526	2,001	0

Taulukko 6. Hiilihydraatit

Carbohydrates

Elintarvike	Fruktoosi g Fructose	sokeri-alkoholi g Sugar alcohol	kuitu g Fiber	kuitu, liukene- maton g Fiber in soluble	polysakkaridi, liukoinen g Polysaccharide, soluble	glukoosi g Glucose	maltoosi g Maltose	galaktoosi g Galactose
Kirjolohifilee vähärasvainen, uunissa paistettu Rainbow trout fillet in oven	0	0	0	0	0	0	0	N/A
Soijapapu keitinvesi suolaton Soybeans	0,405	0	12,717	7,53	5,51	0,162	0	N/A
Härkäpapu, keitetty Horse beans, cooked		0	21				0	N/A
Rypsiöljy Canola oil	0	0						N/A

Taulukko 7. Vitamiinipitoisuudet 1.

Vitamin contents1.

Elintarvike Food product	VITAMIINIT		E (alfatok) mg	K µg	C mg	Folaatti Folate µg	Niasiini Ekv Niacin mg
	A RAE	D					
	µg	µg					
Kirjolohi Rainbow trout fillet in oven	30	14	3	7		14	19
Soijapapu keitinvesi suolaton Soybeans	2		1	38		209,8	6,3
Härkäpapu Horse beans	4		0,1	11,1	1,1	397	2,7
Rypsiöljy Canola oil			1,9	15			
Broilerifilee uunissa Chicken fillet in oven	12,5	0,1	0,3	20		18	13
Rypsiöljy Canola oil			1,9	15			
Porsaanfilee uunissa Pork fillet in oven	3,4	0,4	0,3	2		2,4	10
Rypsiöljy Canola oil			1,9	15			
Naudanfilee Beef in oven	6,2	0,3	0,4	6		1,7	15,6
Rypsiöljy Canola oil			1,9	15			

Taulukko 8. Vitamiinipitoisuudet 2.

Vitamin contents 2

Elintarvike Food product	Ribofl (B2) mg	Tiamiini (B1) Thiamine mg	VITAMIINIT		Karotenoidit Carotenoids ug
			B12, ug ug	Pyridoksiini Pyridoxine ug	
Kirjolohi uunissa Rainbow trout in oven	0,14	0,17	7,4	0,82	1099
Soijapapu keitinvesi suolaton Soybeans	0,2	0,67		0,37	19,4
Härkäpapu Horse beans	0,34	0,37		0,28	ei ilm.
Broilerifilee uunissa Chicken fillet in oven	0,22	0,1		0,68	
Porsaanfilee uunissa Pork fillet in oven	0,31	1,24		0,56	
Naudanfilee uunissa Beef in oven	0,24	0,16	2,6	0,59	36,9

Liite 6. Kalatuotteiden rasvahappopitoisuuksia

Appendix 6. Fat acid contents of investigated fish species

Kala	linolihappo F18:2 n-6,g	Alfalinoleenihappo F18:3 n-3, mg	EPA F20:5n-3, mg	DHA F22:6 n-3 mg
Ahven Perch	10	4	54	245
Hauki Pike	16	11	44	217
Kirjolohi Rainbow trout	357	67	241	717
Kuha Pikeperch	13	13	92	301
Lohi Salmon	138	78	224	651
Siika Whitefish	48	27	263	493

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

MTT RAPORTTI

www.mtt.fi/julkaisut

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

MTT, 31600 Jokioinen.

