

KALA- JA RIISTARAPORTTEJA nro199

Frans Silvenius

Kalankasvatus ja ympäristö

Esiselvitys elinkaariarviointia varten

Helsinki 2000



RIISTAN- JA KALANTUTKIMUS

Frans Silvenius

Kalankasvatus ja ympäristö – Esiselvitys elinkaariarviointia varten

Tutkimusraportti

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

Saaristomeren kestävä kalankasvatus - Elinkaariarviointi (312087)

Tässä raportissa on koottu yhteen tutkimustulokset kalankasvatuksen elinkaariselvityksen ensimmäisestä vaiheesta, esiselvityksestä. Esiselvitys antaa pohjan suomalaisesta kalankasvatuksesta tehtävälle elinkaariarviointille, joka suoritetaan vuoden 2000 aikana. Lopulliset tutkimustulokset hankkeesta valmistuvat maaliskuussa 2001.

Eselvityksessä pyrittiin selvittämään aikaisemmat kalankasvatuksesta ja muista elintarviketuotannosta tehdyt elinkaariselvitykset ja laatimaan kalankasvatusprosessista sivu- ja osaprosesseineen kuvaus sekä etsimään vaihtoehtoisia tuotantomenetelmiä ja elintarviketuotteita, joihin traditionaalisen kirjolohenkasvatuksen ympäristövaikutuksia ryhdyttäisiin vertaamaan. Lisäksi selvitettiin mahdollisuuksia koota tietoja kirjolohenkasvatuksen eri tuotantovaiheiden ympäristökuormituksista.

Kirjallisuudesta ei löytynyt kalatuotteista aikaisemmin tehtyjä elinkaariselvityksiä, mutta sen sijaan elinkaariaineistoa sian- ja naudanlihantuotannosta. Lisäksi ilmeni, että silakasta on tekeillä elinkaariselvitys. Vertailuvaihtoehtoiksi valittiin vaihtoehtoisista elintarvikkeista Norjassa kasvatettu merilohi, Suomessa kasvatettu silakka sekä sian- ja naudanliha. Vaihtoehtoisiksi kirjolohen tuotantomenetelmiksi valittiin umpikassi- ja suppilomenetelmä, maalle rakennettu merilaitos sekä rehu, jossa kalajauhoa oli korvattu soijalla. Lisäksi päätettiin tutkia erilaisten rehukertoimien ja rehun fosfori- ja typpipitoisuuksien merkitystä kalankasvatuksen ympäristökuormituksiin sekä vertailla kalankasvatusta sisämaassa ja merialueilla.

Tuotantojärjestelmä rajattiin seuraaviin tuotantovaiheisiin: rehun raaka-aineiden tuotanto ja kuljetukset, rehun valmistus ja kuljetukset, pakkausten valmistus ja kuljetukset, poikaslaitos ja poikasten kuljetus, kasvatustoiminta, perkaamo ja tuotteiden kuljetus joko jatkojalostukseen tai kauppoihin. Näihin tuotantovaiheisiin pyritään sisällyttämään raaka-aine, energia- ja tuotosvirrat mahdollisimman tarkoin, ulkopuolelle jätettiin vain komponentteja, joilla ei katsottu olevan merkitystä, tai joista ei ollut saatavilla tietoja.

elinkaariarviointi, esiselvitys, kalankasvatus, kirjolohi, LCA, ympäristönsuojelu

Kala – ja riistaraportteja 199

951-776-293-3

1238-3325

43 s.

suomi

Julkinen

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 6
00721 HelsinkiRiista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 6
00721 Helsinki

Puh. 0205 7511 Fax 0205 751 201

Puh. 0205 7511 Fax 0205 751 201

Alkusanat

Suomen Kalakasvattajaliitto ry. haki yhdessä Suomen Ympäristökeskuksen ja Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen kanssa 30.11.1998 avustusta Saaristomeren kalankasvatuksen elinkaariarvioinnin tekemiseen. Varsinais-Suomen Työvoima- ja elinkeinokeskus myönsi avustuksen 10. 3. 1999. Hanke on julkinen ja palvelee koko vesiviljelyalan kehittämistä. Hankkeen rahoitus jakaantuu siten, että EU:n Pesca-varoista saadaan 50 %, kansallinen rahoitusosuus kattaa 28,6 % ja muu julkinen rahoitus 21,4 % kokonaiskustannuksista.

Suunnitelman mukaan hankkeelle asetettiin ohjausryhmä, jonka puheenjohtajana toimii apulaisjohtaja Osmo Purhonen Suomen Ympäristökeskuksesta ja jäsenenä toimitusjohtaja Kaisa Rossi Suomen Kalankasvattajaliitto ry:stä, biologi Yrjö Lankinen Savon Taimen Oy:stä, myyntiedustaja Erik Norrgård Rehuraisio Oy:stä ja kalatalousjohtaja Kari Ranta-aho Varsinais-Suomen TE-Keskuksesta. Ohjausryhmän sihteerinä toimii DI Frans Silvenius. Lisäksi ohjausryhmän kokoukseen osallistuvat tutkimusryhmän jäsenet, jotka ovat erikoistutkija TkL Jyri Seppälä, tutkija MMM Juha Grönroos ja limnologi MMM Kimmo Silvo Suomen Ympäristökeskuksesta sekä erikoistutkija FT Timo Mäkinen Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitokselta. Ohjausryhmä on esittänyt kommenttinsa projektin raporttiluonnoksiin.

Sisällys

1. JOHDANTO.....	1
1.1 Elinkaariarviointi.....	1
1.2 Hankkeen tavoitteet.....	1
2. KALANKASVATUKSEN NYKYTILA.....	3
2.1 Kotimainen kulutus ja ulkomaankauppa.....	3
2.2 Tuotanto Pohjoismaissa.....	4
2.3 Kalakasvatusprosessin kuvaus.....	5
2.3.1 Poikaskasvatus.....	5
2.3.2 Jatkokasvatus.....	5
2.3.3 Perkaus.....	8
2.3.4 Rehu.....	10
2.4 Kansanterveydelliset ja sosioekonomiset seikat.....	12
2.4.1 Kala ihmisravintona.....	12
2.4.2 Työllistävät ja taloudelliset seikat.....	12
2.5 Ympäristönsuojelun tavoitteet.....	13
2.5.1 Kuormitus ja muut ympäristövaikutukset.....	13
3. VERTAILTAVAT VAIHTOEHDOT.....	17
3.1 Muut kalatuotteet ja vaihtoehtoiset tuotantomenetelmät.....	17
3.1.1 Vaihtoehtoisia kirjolohen tuotantomenetelmiä kuormituksen alentamiseksi.....	17
3.1.2 Vaihtoehtoisia kalatuotteita kasvatuskirjolohelle.....	21
3.2 Muut elintarvikkeet.....	25
3.2.1 Kasvatuskirjolohen vertailu sian- ja naudanlihaan.....	25
4. ESISELVITYKSEN POHJALTA TEHDYT RATKAISUT.....	29
4.1 Tavoitteet.....	29
4.2 Aineisto.....	29
4.2.1 Käytössä oleva aineisto.....	29
4.2.2 Kerättävä.....	30
4.3 Vertailukohteiden valitseminen.....	30
4.4 Rajaukset.....	32
KIITOKSET.....	34
LÄHDELUETTELO.....	35

1. Johdanto

1.1 Elinkaariarviointi

Kalankasvatuksen elinkaaritarkastelu eroaa aiemmista kalankasvatukseen liittyvistä ympäristöaiheisista tutkimusprojekteista siinä, että tässä otetaan mukaan myös muut kuin suoraan itse kasvatustoiminnasta aiheutuvat ympäristövaikutukset ja tutkitaan niiden merkitystä. Näitä ovat mm. erilaisiin kuljetuksiin liittyvät tie-, laiva ja rautatie-liikenteen päästöt, rehun ja sen raaka-aineiden tuotannon aiheuttamat päästöt, jne. Aiemmissä tutkimusprojekteissa, kuten kalankasvatuksen ja vesiensuojelun ympäristöohjelmassa on tutkittu ainoastaan kalankasvatuksesta itsestään aiheutuvia ympäristökuormituksia, kuten esim. ravinnepäästöjä sekä niiden vähentämismahdollisuuksia ja vaikutuksia ympäristöön.

Itse elinkaariarviointi on tekniikka, jolla tuotteeseen liittyviä ympäristönäkökohtia ja potentiaalisia ympäristövaikutuksia arvioidaan. Niitä tarkastellaan tuotteen koko elinkaaren ajalta (ns. kehdosta hautaan) raaka-aineiden hankinnasta valmistukseen, käyttöön ja loppukäsittelyyn. Huomioon otettavat ympäristövaikutusluokat ovat yleensä luonnonvarojen käyttö, ihmisten terveys ja ekologiset seuraukset. Elinkaariarvioinnin vaiheita ovat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, johon kootaan ympäristökuormituksista ekotase, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta (ISO 1997). Elinkaariarviointeja tehdään eri laajuisina, varsin yleistä on päättää elinkaariarviointi inventaariovaiheeseen (Vertanen 1993), jolloin varsinainen ympäristövaikutusten arviointi jää suorittamatta. Elinkaariarvioinnin tekeminen edellyttää avoimuutta, mikä tarkoittaa sitä, että työstä tulee selvittää tehdyt oletukset ja tiedon lähteet (ISO 1997).

1.2 Hankkeen tavoitteet

Hankkeen alustavat tavoitteet määriteltiin ohjausryhmän ensimmäisessä kokouksessa 14.4.1999 seuraavasti:

Kokonaisuutena oppimis- ja osallistumisprosessi, jonka tavoitteena on

- selvittää kalankasvatuksen koko elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset ja
- suhde vaihtoehtoisten kalankasvatuksen tuotantotapojen sekä vaihtoehtoisten elintarvikkeiden ympäristövaikutuksiin
- tuottaa objektiivista, läpinäkyvää tietoa elinkeinon aiheuttamista eduista ja haitoista
- auttaa elinkeinoa löytämään ne elinkaarensa vaiheet ja kuormittavat tekijät, joiden aiheuttamat ympäristöepäkohdat ovat suurimmat ja joiden korjaamiseen tulisi puurtua
- arvioida kalankasvatuksen sosioekonomisia vaikutuksia pohjautuen Jyväskylän Yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen tutkimushankkeen tuloksiin
- arvioida saatuja tuloksia elinkeinon kalankasvatuskentän kannalta tehokkaimman ympäristöpolitiikan ja kestävä kehityksen linjauksia varten

Tutkimuksen ensimmäisen vaiheen, eli tämän käsillä olevaan esiselvityksen, päämäärät määriteltiin samassa kokouksessa. Sen mukaan esiselvityksen päämääränä oli

- tehdä kirjallisuuskatsaus aiemmin tehdyistä elinkaariselvityksistä kalankasvatuksen ja toisaalta muiden elintarvikkeiden osalta (ks. luku 3.2, sivu 23)
- tehdä kuvaus kalankasvatuksen tuotantoprosessista ja nykytilasta (ks. luku 2, sivut 3-14)
- selvittää yhteistyömahdollisuudet eri instanssien kanssa (ks. luku 2.6.2)
- rajata vertailtavat vaihtoehtoiset tuotteet ja tuotantotavat, joihin tutkimustuloksia verrataan (ks. luku 4.3, sivut 28-29)
- laatia tarkasteltaville vaihtoehdoille prosessikuvaukset (ks. luku 3 sivut 14-27)
- arvioida inventaarion tekemisen mahdollisuudet ja määritellä muuttujat, joista tieto kerätään (ks. luvut 4.1, 4.2.2 ja 5)
- valita tutkimuksen metodologia (ks. luku 5.1, sivu 30)
- määritellä tutkimuksen lopulliset tavoitteet ja laatia varsinainen tutkimussuunnitelma ja raportit (ks. luvut 4.1 ja 5)

2. Kalankasvatuksen nykytila

Kappaleessa käsitellään kotimaista ja pohjoismaista tuotantoa ja ulkomaankauppaa sekä kuvaillaan kalankasvatustilanteen pääpiirteittäin. Kaikki tuotantoluvut ilmoitetaan perkaamattomana kalana.

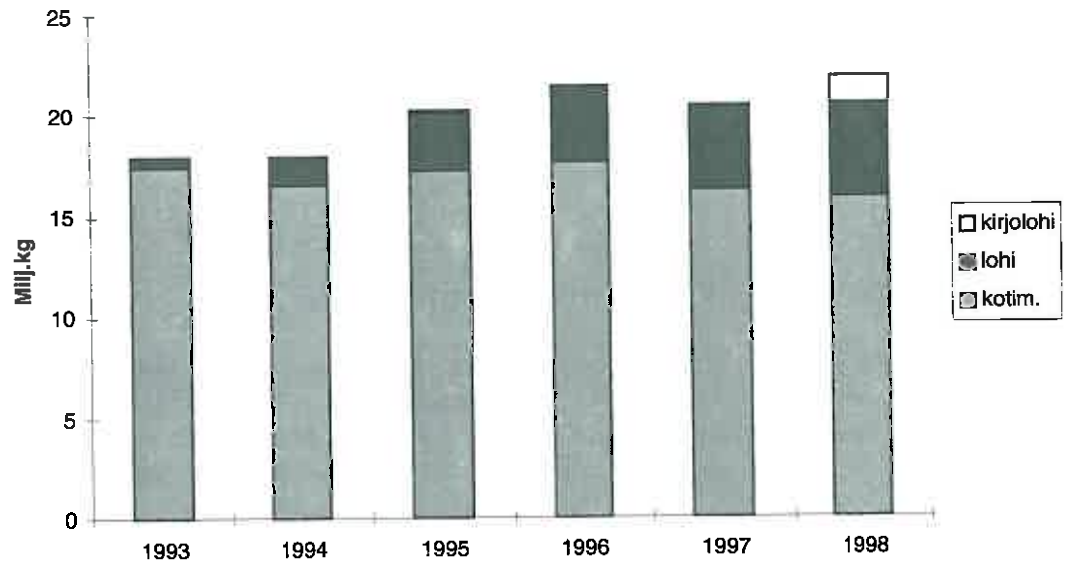
2.1 Kotimainen kulutus ja ulkomaankauppa

Kirjolohen tilastoitu tuotantomäärä kasvoi voimakkaasti koko 1980-luvun. Suurinta tuotanto oli vuonna 1991, jolloin tuotettiin noin 19,1 milj. kg kirjolohta. Sen jälkeen tuotanto on laskenut pikku hiljaa 15,9 milj. kiloon 1998 (kuva 1). Ruokakalasta noin 80 % kasvatetaan merilaitoksissa ja noin 20 % sisävesilaitoksissa. Valtaosa, noin 60 % ruokakalantuotannosta on keskittynyt Ahvenanmaan ja Saaristomeren alueelle (Savolainen *et al.* 1998, Kalanviljely 1998). Toiminnassa olevien kalanviljelylaitosten määrää on kuvattu taulukossa 1 ja kohdan 2.5.2 kuvassa 4.

Taulukko 1. Toiminnassa olleiden kalanviljelylaitosten lukumäärä koko maassa 1997 ja 1998 (Kalanviljely 1997 ja 1998).

	Meri		Sisävesi		Yhteensä	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998
Laitoksia yht.	207	204	463	446	670	650
Ruokakalalaitokset	200	190	87	91	287	281
Poikaslaitokset	19	39	115	112	134	151
Luonnonravintoviljelijät			322	324	322	324

Vuonna 1998 kalaa ja kalavalmisteita tuotiin yhteensä 104,3 miljoonaa kiloa, josta ihmisravinnon osuus 38,2 miljoonaa kiloa, eli 36,7 % (Söderkultalahti *et al.* 1997, Kalan ulkomaankauppa 1998). Tärkein tuontimaa on Norja, mistä vuoden 1998 tuonti oli 47 000 tonnia. Norjasta tuotiin lohta vuonna 1998 4 600 tonnia ja kirjolohta 1 300 tonnia. Tuontimäärät ovat kasvaneet jyrkästi (Söderkultalahti *et al.* 1997, Kalan ulkomaankauppa 1998, kuva 1.) samaan aikaan kun kotimainen tuotanto on pienentynyt.



Kuva 1. Kirjolohten tuotantomäärät Suomessa sekä Norjassa kasvatetun lohien ja kirjolohten tuontimäärät 1993-98 (Kalanviljely 1993-98).

Viennin määrä vaihteli vuosina 1980-1996 noin 2 000-12 000 tonnin välillä ja viennin arvo 50-150 miljoonan markan välillä. Viime vuosina vienti on ollut kasvussa (Söderkultalahti *et al.* 1997). Vuonna 1998 kalaa ja kalatuotteita vietiin yhteensä 15 600 tonnia, josta kirjolohta 1,2 miljoonaa kiloa (Kalan ulkomaankauppa 1998).

2.2 Tuotanto Pohjoismaissa

Selvästi eniten lohikaloja kasvatetaan Pohjoismaista Norjassa, missä kasvatetaan maailmanmarkkinoille tulevasta Atlantin lohesta yli puolet. Muut tärkeät lohien viejämaat ovat Chile, Skotlanti, Irlanti ja Kanada (Sandnes ja Ervik 1999). Koska norjalaista lohista tuodaan huomattavia määriä myös Suomeen (kohta 2.3), on tarkastelussa keskitytty vaihtoehtoisista viljelyistä kalatuotteista lähinnä siihen. Ruotsissa kasvatetun kirjolohten tuotanto oli vuonna 1998 noin 6 900 tonnia. Tuotanto on ollut laskusuunnassa siten vuosikymmenen vaihteen. Tanskassa tuotettiin vuonna 1998 39 500 tonnia kirjolohta ja Fär-saarilla 25 000 tonnia lohista (Nykänen 2000).

Norjassa kalankasvatuksen kokonaistuotannosta, yli 90 % tapahtuu rannikkovesien verkkoaltaissa Stavangerin pohjoispuolella. Tuotantomäärät ovat nousseet jatkuvasti ja vuonna 1998 maassa tuotettiin peräti 345 000 tonnia lohista ja 41 000 tonnia kirjolohta, kun Atlantin lohien tuotanto maailmassa vuonna 1996 oli 550 000 tonnia. Norjan tuotannosta 90 % menee vientiin. Vientimäärät ovat suuria, vuoden 1998 vienti oli 283 000 tonnia lohista ja 33 000 tonnia kirjolohta. Pääosa viennistä suuntautui Tanskaan ja Saksaan. Nykyisin laitoksia on noin 820 ja niiden vuosituotannot vaihtelevat 50:stä 800 tonniin. Lisäksi on satoja hyvin pieniä, alle 2 tonnia vuodessa kasvattavia laitoksia. Poikaslaitoksia on noin 300. Poikastuotanto vuonna 1997 oli 122 miljoonaa kpl (Aalvik 1999, Sandnes ja Ervik 1999).

2.3 Kalakasvatusprosessin kuvaus

Kalankasvatusprosessi on esitetty erillisessä raportissa (Silvenius 2000) Tämän vuoksi seuraavassa esitetään kasvatusprosessista vain elinkaariarvioinnin kannalta olennaisimpia kohtia.

2.3.1 Poikaskasvatus

Kirjolohen poikasista valtaosa, eli 95 % menee ruokakalankasvatukseen, loput istutuksiin (Nylander ja Savolainen 1997). Kalanpoikaset viljellään lähes yksinomaan sisävesilaitoksissa. Suominen (1999) arvioi, että 100 000 kg:n 2-kiloista kalaa tuottamiseen tarvitaan 100 000 0-vuotiasta poikasta, siis 1 poikanen/kg täysikasvuista kalaa. Kuolleisuus vaihtelee kuitenkin runsaasti olosuhteista riippuen. Yleisin toimituskoko jatkokasvatukseen on 10-20 grammaa, vaihteluväli 5-200 g (Lankinen 1999). Taulukkoon 2 on koottu erikokoisten kirjolohen poikasten tuotantomäärät kahden vuoden ajalta. Poikaslaitosten lukumäärä on käsitelty kohdan 2.1 taulukossa 1.

Taulukko 2. Viljellyt kirjolohenpoikaset 1997 ja 1998 (1000 kpl, Kalanviljely 1998, 1999).

	Istutuksiin		Jatkoviljelyyn		Kalamäärät vuoden lopussa	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998
< 20g	9	-	13 475	15 257	2 240	1 936
20-200 g	4	203	4 633	5 134	7 767	5 335
> 200 g	227	189	1 864	3 285	7 414	4 451
Yht.	240	392	19 972	23 676	17 421	11 922

Kuljetusmatkat ovat noin 300-600 km yhteen suuntaan poikaskasvattamoilta ruokakalalaitoksille. Koko kirjolohen elinkaarta ajatellen poikastuotannon ravinnepäästöjen osuus ei ole kovin merkittävä: vaikka poikastuotannon kuormituksia onnistuttaisiin pienentämään 80 %, merkitsee tämä valtakunnallisen kokonaisuormituksen osalta vain 4-6 %:n pienenemää (Mäkinen 1983). Poikastuotannon kuormitusten pienentämiseen on olemassa realistisia mahdollisuuksia: Pienillä poikaslaitoksilla on mahdollista puhdistaa jopa koko laitoksen käyttämä vesimäärä, eikä pelkästään jokin erillinen jätevesijae. Tarvittava tekniikka on varsin monimutkaista, erittäin kallista investointeillaan ja käyttökuluiltaan. On jo olemassa suodattimia, joilla voidaan käsitellä suurenkin laitoksen koko vesimäärä. Kehitys johtanee siihen, että näiden kustannukset alenevat kohtuulliselle tasolle (Tiainen *et al.* 1996).

2.3.2 Jatkokasvatus

Elinkaariarvioinnin kannalta pääasiallisin kalankasvatusprosessista aiheutuva ympäristöön vaikuttava tekijä on vesistöön päätyvä ravinnekuormitus, joka on lähes kokonaan peräisin jatkokasvatusprosessista. Asiaa on käsitelty tarkemmin kohdassa 2.7.1. Makean veden kalankasvatus on usein mahdollista painovoimaisesti virtaavaa vettä hyväksi käyttäen, jolloin pumppauksiin ei kulu energiaa. Altaiden pohjalta on nykytekniikalla mahdollista poistaa sinne laskeutuneita partikkeleita, mutta leijuvien eli suspendoituneiden partikkeleiden poistoon tarvittaisiin vielä huomattavasti kehittyneempää ja kalliimpaa tekniikkaa. (Tiainen *et al.* 1996, Eskelinen 1988, Vesi- ja ympäristöhallitus 1988, Selänne ja Lindgren 1984). Sen sijaan verkkoallaskasvattamoilla partikkelien poistoon ei ole kehitetty realistisin kustannuksin toimivia ratkaisuja (kohta

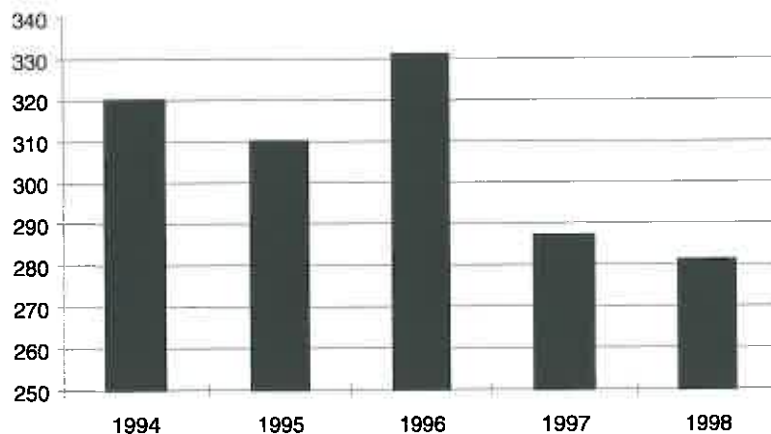
3.1.1), mikä on tärkeä ero verrattaessa makean veden ja merialueen kalankasvatusta toisiinsa.

Kirjolohta kasvatetaan pääasiassa verkkoallaslaitoksissa, joiden yhteistilavuus merialueilla oli vuonna 1998 seuraava (taulukko 3):

Taulukko 3. Verkkoallaslaitosten tilavuus ja pinta-ala Suomessa sisävesillä ja merialueilla (Kalanviljely 1998).

	Sisävesi	Meri
Tilavuus, m ³	98 000 (8,1 %)	1 116 000 (91,9 %)
Pinta-ala, m ²	29 000 (4,0 %)	697 000 (96%)

Murtovettä käyttävien keinoaltaiden pinta-ala oli 2 000 m² ja sisävesillä keinoaltaita oli 63 000 m² (Kalanviljely 1998). Tukirakenteina verkkoallaskasvatuksessa käytetään mm. styroxtäytteisiä puusta tehtyjä ponttooneja, PVC-putkia ja metallikehikoita. Kehikoiden ja verkkoallasmateriaalin merkitys elinkaariarvioinnin kannalta on vähäinen johtuen pitkästä käyttöajasta. Itse kasvattamoilla ei yleensä ole sähköenergiaa vievää laitteistoa (Suominen 1999, Öström 1999, Husell 1999, Sjöblom 1999, Eriksson 1999). Kasvatukseen liittyvät lämmitykset ja valaisu voivat kuitenkin kuluttaa energiaa noin 220 kWh/t kalaa (Suominen 1999). Kasvattajat ovat arvioineet vuosittaiseksi vaihteluksi kalanviljelylaitoksen parametreissä, kuten kasvussa tai rehun kulutuksessa, 10-15 % (Eriksson 1999), tai noin 20 % (Sjöblom 1999).



Kuva 3. Ruokakalalaitosten määrät 1994-98 (Kalanviljely 1994-98).

Verkkoallaskasvattamot käyttävät vaihtelevia määriä antifouling-materiaalia verkkoaltaiden kunnostukseen. Kulutus vaihtelee huomattavasti, sillä osalla laitoksista altaat värjätään vuosittain, osalla joka toinen vuosi ja osalla verkkoaltaat kunnostetaan pelkällä pesulla. Materiaalin kulutus voi olla 2-10 l/t tuotettua kirjolohta (Sjöblom 1999, Husell 1999). Käytön seurauksena on ympäristön kannalta raskasmetallipitoisuuksien nousu pohjasedimentissä kalankasvattamon läheisyydessä. Cu₂O-pitoisuus tuotteessa on 10-20 paino-% (Erkkilä 1999b). Norjalaisen tutkimuksen mukaan verkkoaltaisiin jää kuparia 15 % altaan käyttöajan aikana ja 85 % joutuu vesistöön (SFT 1998), joten dikuparioksidia päätyisi näin ollen vesistöön karkeasti arvioiden noin 640 g/t tuotettua kirjolohta. Arviot antifouling-materiaalin käytöstä aiheutuvista ympäristökuormituksis-

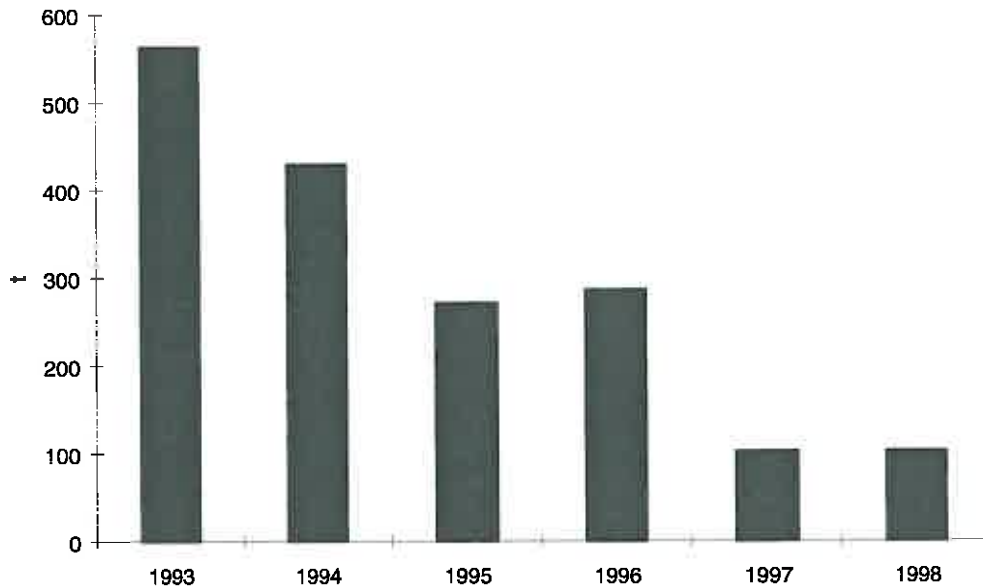
ta Suomessa ovat vain suuntaa antavia, koska antifouling-materiaalin käyttömäärät vaihtelevat suuresti laitoksittain ja markkinoilla on useita tuotteita.

Kalankasvatuksessa aiheutuu lisäksi jonkin verran ympäristökuormituksia kalatautien ehkäisyyn käytettävistä toimenpiteistä. Desinfiointiaineita käytetään mm. kalankuljetuskaluston pesemiseen (Erkamo 1992, Heinimaa 1992) ja rokotteita bakteerien aiheuttamia furunkuloosia ja fibrioosia vastaan. Rokotteista ei jää jäämiä kalaan, eivätkä ne juuri aiheuta ympäristökuormituksia. Rokotteiden määrät ovat olleet viime aikoina kasvussa (Rimaila-Pärnänen 1999), mikä taas on vähentänyt antibioottien käyttömääriä (Orakoski 1999). Antibioottilääkkeistä on käytetty lääkerehuihin ainakin oksitetrasykliiniä, oksoliinihappoa ja sulfatrimetopriimiä (Heinimaa 1992, Wennerström 1999). Lääkerehujen tarkka käyttömäärä Suomessa on saatavissa rehunvalmistajilta, sen sijaan kalankasvattajien itsensä rehuun sekoittamaa antibioottimäärää voidaan vain arvioida. Antibioottien käyttömäärät ovat viime aikoina toisin kuin aiemmin olleet Suomessa korkeita Norjaan verrattuna (taulukko 4). Eläinlääkintä- ja elintarvikelaitoksen tutkimusten mukaan kasvatetussa kalassa ei ollut vuonna 1998 havaittavissa lääkke-, tai torjunta-ainejäämiä, eikä myöskään raskasmetalleja tai kiellettyjä kasvunestittäjiä.

Taulukko 4. Lääkerehujen sisältämien antibioottien käyttö Suomessa ja Norjassa tuotantomäärään nähden vuonna 1998 (Rankanen 1999, Aalvik 1999).

	Suomi	Norja
Oksitetrasykliini, g/t	13,6	0,01
Oksoliinihappo, g/t	1,0	1,0
Sulfadiatsiini, g/t	7,95	0
Trimetopriimi, g/t	1,71	0
Florfenikoli, g/t	0	0,28
Flumekiini, g/t	0	0,27

Taulukossa olevassa lääkerehutilastossa ei näy, kuinka paljon eläinlääkärit ovat kirjoittaneet reseptejä lääkkeistä, joita kalankasvattajat sekoittavat suoraan kalanrehuun. Parviainen (1999) arvioi tämän määrän olevan 100-150 kg aktiivista ainesta vuodessa, kun lääkerehujen sisältämä antibioottimäärä oli vuonna 1998 yhteensä 385,7 kg aktiivista ainesta. Antibioottien valmistusprosessi ei liene ympäristökuormitusten kannalta merkittävä, eikä siitä ole tietoja saatavilla (Orakoski 1999). Sairaiden kalojen ruokahalu on heikko ja on arvioitu, että vain 20-30 % annetusta lääkerehusta imeytyy suolistosta kalan vähentyneen ruokahalun ja lääkerehun huonon maittavuuden takia. Tällöin 70-80 % antibiootista joutuu ympäristöön. Osuus vaihtelee antibiootista riippuen: kloramfenikolista alle 1 % jää imeytymättä kun taas Suomessa yleisimmin käytössä olevasta oksitetrasykliinistä jää imeytymättä yli 90 % (Wihlman 1999). Antibioottien käyttömäärät ovat Suomessa, kuten Norjassa jo aiemmin, alkaneet pienentyä viime aikoina (kuva 4).



Kuva 4. Kalojen lääkeruhujen valmistus vuosina 1993-98 (Remes 1999).

2.3.3 Perkaus

Perkaamot voivat olla koneellisia, manuaalisia tai niiden yhdistelmiä. Korkeamman käyttöasteen perkaamot ovat yleensä koneistettuja kuin pienemmät (Honkanen 1999, Mustonen 1992). Muutamilla esimerkkilaitoksilla perkauskoneet, kuljettimet, veden pumppaukset ja sähkömoottorit kuluttavat energiaa 15-20 kWh/t perattua kalaa, lisäksi energiaa kuluu jäittämiseen ja pumppaamiseen (Öström 1999, Suominen 1999, Husell 1999). Energiankulutus vaihtelee kuitenkin erilaisilla perkaamoilla runsaasti laitteistosta riippuen. Erilaiset kasvatus- ja perkaustiloihin liittyvät lämmityslaitteet ja valaisimet kuluttavat huomattavasti enemmän energiaa kuin perkauslaitteisto (ks. kohta 2.3.2).

Myyntikokoisen kirjolohen kokonaispainosta 15-20 % on perkausjätettä (Suominen 1999), eli ruuansulatus- ja muuta sisäelimestöä, verta sekä suolistorasvaa. Kalavirratmonisteissa mainitaan kertoimeksi 0,17, mutta jätteitä voidaan yksittäistapauksissa olla 20-30 % (Sjöblom 1999, Husell 1999). Lisäksi kidusten osuus kalan massasta on 2,7 % (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Yli 70 % perkuujätteistä käytetään turkiseläinten rehuksi ja alle 20 % viedään kaatopaikalle tai sijoitetaan esim. maakuoppiin (Mustajärvi 1999). Turkiseläinten ravinnoksi päätyvää määrää voidaan edelleen lisätä (Pölönen 1999). Kirjolohen perkausjätettä syntyy Suomessa vuosittain 3-4 milj. kg. Perkausjätteen happosäilöntään käytetään tavallisimmin muurahaishappoa, mutta myös rikkihappoa. Haposäilöttyä perkausjätettä voidaan käyttää pehmeäraehun raaka-aineeksi (Ruohonen ja Vielma 1994, Mustonen 1992). Muurahaishappo- ja rikkihappo on käytettävissä Kemira Chemicals Oy:n elinkaaritietoja (Ilomäki 1999). Kuljetusmatkat turkiseläinten pääkasvatusalueelle Pohjanmaalle ovat Ahvenanmaalta ja Varsinais-Suomessa noin 300-400 km.

Perkausjätevesien kuormitus on kalankasvatukseen aiheuttamaan kuormitukseen verrattuna selvästi pienempi, mutta toisaalta se ajoittuu lähes kokonaisuudessaan loppusyksyyn ja alkutalveen. Perkauksesta tulevasta kuormituksesta suuri osa on peräisin verestä, jota on noin 5 % kalan painosta. Perkausjäteveden laadusta on seuraavia tietoja:

kok.-P 20 (2-40) mg/l
kok.-N 200 (30-500) mg/l
BHK₇ 2000 (199-5400) mg O₂/l
kiintoaine 350 mg/l (100-11000)
NH₄-N 0,3-68 mg/l
COD_{Mn} 41-1500 mg/l
pH 5,7-7,5

Lisäksi rasvaa ja suolistoperäisiä bakteereja. Jätevesien laadun suuret erot johtuvat perkaamon toiminnan vaihteluista, veden käytön vaihteluista ja prosessitekniikasta (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Pesuvetenä käytetään joko luonnon- tai talousvettä (Mustonen 1992) yleensä noin 3 litraa perattavaa kalakiloa kohti, mutta vaihdellen kuitenkin huomattavasti eri laitoksilla (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Vuoden 1986 arviot perkauksen aiheuttamasta vesikuormituksesta 10 milj. kg tuotannolle edellyttäen, että perkuujätteet kerätään huolella talteen:

BHK₇ 50 t
kok.-P 0,5 t
kok.-N 5 t
kiintoaine 9 t

Perkausjätevedet tulisi ensisijaisesti johtaa viemäriverkostoon, mutta myös umpikai-voa käytetään. Jätteet on vietävä kaivosta jätevedenpuhdistamolle, kaatopaikalle, turkiseläinten ravinnoksi tai peltojen lannoitteeksi (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988, Mustajärvi 1999, Mustonen 1992). Osa perkaamoista laskee edelleen jätevetensä vesistöön puutteellisesti käsiteltynä. Kaiken kaikkiaan perkausjätevesien käsittely elinkaariarvioinnissa vaikuttaa hankalalta johtuen lukuisista erilaisista perkausjätevesien käsittelymenetelmistä ja suurista vaihteluista perkausjätevesien pitoisuuksissa. Ongelmana on myös tiedon saanti tämän hetken tilanteesta, em. lukuarvot ovat vuodelta 1986 (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988).

Sivutuotteena saatavan mädin raaka-ainearvo vaihtelee vuosittain kysyntätilanteesta riippuen välillä 40-80 mk/kg (Lankinen 1999). Mätiprosentti on 0-12 % kalamassasta, eli korkeimmillaan sivutuotteen arvo saattaa näin ollen kohota jopa neljännekseen varsinaisesta peratun kalan myyntiarvosta (Liukkonen 1992). Keskimäärin mädin massa-prosentti oli noin 4 (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Täysnaarasparvien osuus kasvatuksessa on kuitenkin lisääntynyt edelleen, joten prosentti lienee nykyään korkeampi. Vuonna 1998 mätiä tuotettiin kulutukseen 390 tonnia, eli 2,46 % markkinoille tulleen kirjolohen määrästä. Taloudellinen arvo oli 7,86 % kirjolohen arvosta (Kalanviljely 1998).

Kirjolohen perkauksessa tainnutuksessa käytettävän hiilidioksidin kulutus vaihtelee välillä 0,86-1,7 kg/t (Sjöblom 1999, Eriksson 1999). AGA:n valmistama hiilidioksidi on sivutuote muista prosesseista, joten sen merkitys ympäristön kannalta voidaan katsoa nollassa (Räisänen 1999). Peratut kalat pakataan styrox-laatikoihin. Peterson Wal-kin toimituksista 6/7 on 10 kg:n pakkauksia, joiden massa on 200 g ja loput 20 kg:n pakkauksia, joiden massa on 400 g. Raaka-aineena käytetään polystyreeniä. Polttoöljyä kuluu 1,1 kg raaka-ainekiloa kohden ja sähköä 2,5 MWh raaka-ainetonnin kohden. Pentaania on raaka-aineessa 5,5 % ja se päättyy ilmakehään. Jätteitä tai jätevesiä ei synny (Sivula 1999). Polystyreenin eurooppalaisiin tietokantoihin perustuva elinkaariarviointi on käytettävissä tätä tutkimusta varten.

2.3.4 Rehu

Kulutus ja tuotanto Suomessa

Vuonna 1996 käytettiin lähes yksinomaan kuivarehua, jota valmistettiin Suomessa 28,4 miljoonaa kiloa (Nylander ja Savolainen 1997). Vuonna 1998 kalanrehun käyttömäärä oli 23 miljoonaa kiloa, sisältäen tuontirehun, eli siis 1,44 kertaa suurempi kuin ruokakalantuotanto (Rankanen 1999). Kalanrehutuotanto edustaa 2-3 %:a rehun kokonaistuotannosta Suomessa. Suomessa toimii vuosituhaton vaihteesta lähtien vain yksi rehujen valmistaja, joten rehua tuodaan huomattavia määriä ulkomailta. Rehun kuljetusmatkat ovat suhteellisen lyhyitä, koska pääasialliset valmistuspaikat sijaitsevat Varsinais-Suomessa lähellä kasvattamoita.

Rehun kulutusmäärää suhteessa kalojen lisäkasvuun kuvataan ns. rehukertoimella, johon vaikuttavia tekijöitä ovat mm. kalojen koko sekä veden lämpötila (Stigebrandt 1986). Rehujen kehittyessä on rehukerroin jatkuvasti laskenut. Norjassa on arvioitu rehukertoimen laskeneen vuoden 1975 3,5:stä vuoden 1996 arvoon 1,14:än (Sandnes ja Ervik 1999). Lankisen (1999) mukaan rehukerroin poikaskasvatuksessa on 0,9-1 10-20 g kokoon saakka vaihdellen sekä laitoksittain että poikasten koon mukaan. Ahvenanmaalla keskimääräinen rehukerroin arvioidaan olevan 1,2, tai ainakaan ei sen yli (Norrgård 1999a), Ruotsin järvilaitoksilla 1,0-1,1 tai jopa 0,80-0,85. Rehukertoimen laskeminen alle yhden on mahdollista, koska 70 % kalasta on vettä (Håkanson 1995). Kalanrehun ominaisuuksia ja kehittämismahdollisuuksia on käsitelty tarkemmin kohdassa 3.1.1.

Rehun tuotannon prosessikuvaus

Rehun valmistuksen energiankulutus vaihtelee prosessista riippuen. Sähköenergiaa kuluu keskimäärin 172 kWh/t ja lämpöenergiaa noin 1 GJ/t. Huomattava osa kalankasvatuksen elinkaaren energiankulutuksesta on peräisin rehun valmistuksesta. Kiinteitä jätteitä syntyy noin 8 kg/t rehua, josta kompostoitavan jätteen osuus on 5kg/t (Mattila 1999, Nappa 1999, Jessen 1999). Raaka-aineita kuluu seuraavasti (taulukko 5):

Taulukko 5. Kirjoloheen rehujen sisältämät raaka-aineet eri lähteiden mukaan.

raaka-aine	Ranne 1995	Norrgård 1999a,1999c, Nappa 1999, Jessen 1999
kalajauho	50 %	38 (30-41)%
soijatiiviste	10 %	8 (5-15)%
soijarouhe		4 %
kalaöljy	25 %	27 (23-30)%
vehnä jauho	10 %	15 (10-20)%
vesi	5 %	3-6 %
maissi		7 (0-7)%

Rehun raaka-aineiden tuotanto

Kalajauho ja kalaöljy tuodaan Tanskasta, Norjasta ja Islannista. Kalajauhon valmistuksen energiaa kuluttavin osa on veden erotus (Ranne 1995, Kalan ulkomaankauppa 1998). Kalajauhokilon valmistukseen tarvitaan kalaraaka-ainetta 4-5 kg, keskiarvona 4,8 kg ja sivutuotteena syntyy 200 g kalaöljyä (Rintaharri 1999). Havaittuja hajuyhdisteitä ovat olleet mm. trimetyyliamiini, etyylimerkaptaani ja myrkyllinen rikkivety, jotka on poistettava pakokaasuista tarvittavalla tekniikalla (FAO 1986). Valmistuspro-

sessin energiantarve on 43 m³ maakaasua raaka-ainetonnia kohden, mikä vastaa 43 kg polttoöljyä. Lämmityslaitoksella lämmitysöljyn rikkipitoisuus on alle 1 %. Laitteiston pyörittämiseen vaaditaan 44 kWh sähköä (Rintaharri 1999, Kärnä 1999). Kalajauho pakataan yleensä tonnin suursäkkeihin, jotka ovat kierrätettäviä (Norrgård 1999a). Elinkaariarvioinnin kannalta kalaraaka-aineen kalastaminen näyttää olevan tärkein osa: polttoainetta kuluu eri kirjallisuuslähteiden mukaan 2-8,5 MJ/kg (mm. Ranne 1995, Christensen ja Ritter 2000).

Kotimaisen vehnän kuljetusmatkat meno-paluu-kuormina Lounais- ja Etelä-Suomesta ovat noin 140 km (Norrgård 1999a, Nappa 1999). Lannoitustaso vehnänviljelyssä Suomessa on 130 kg N/ha, ja 18 kg P/ha. Saanto on 4500 kg/ha kuiva-ainepitoisuudella 87 %. Lannoitteista veteen päätyvä fosfori on 100% biologisesti aktiivista fosforia. Ravinnehuhtoumien suuruutta vehnän ja soijan viljelyssä verrattuna kirjolohen kasvatusprosessista aiheutuviin ravinnehuhtoumiin on kuvattu taulukossa 6. Tutkimuksessa käytetään Suomen ympäristökeskuksesta saatuja vehnän elinkaari-tietoja (Grönroos 1999), joissa käytetty lannoitteiden elinkaaridata on peräisin Kemira Chemicals Oy:ltä (Ilomäki 1999).

Soijatiiviste tai soija tuodaan laivoilla Suomeen mm. Tanskasta. Raaka-aineen prosessoinnissa syntyvät päästöt ovat liuotinpäästöjä ilmaan, kuten heksaania n. 0,8 kg/t ja etanolia sekä kiinteitä kasvijätteitä noin 20 kg/t. Lämpöenergiaa kuluu 1216-1700 MJ/t, riippuen prosessointimaasta ja sähköenergiaa 50-57,5 kWh/t. Sivutuotteina saadaan soijaöljyä ja siirappia, allokointi taloudellisen arvon perusteella Oil World'n (1997) mukaan 69 ja 31 %. Raaka-aineeksi tarvitaan soijapapuja noin 1,25 t/t. Ne tuodaan Pohjois-Amerikasta ja kuljetukset tapahtuvat suurilla laivoilla (Norrgård 1999a, Kärnä 1999, Rintaharri 1999, Sinisalo 1999, Cederberg 1998). Kuljetusmatkat vaihtelevat USA:ssa erittäin paljon, suurten järvien alueella kuljetukset tapahtuvat pääosin laivoilla, maakuljetukset taas ovat 50-2 000 km:n välillä (Tavenius 1999, Erkkilä 1999a). Cederberg (1998) käytti tutkimuksessaan soijanviljelylle Brasiliassa seuraavia tietoja: saanto 2200 kg/ha, ja NPK 0-20-20 lannoitetta 200 kg/ha (P₂O₅ ja K₂O). Reusser (1994) arvioi soijapapujen kuivaukseen kuluvan energiaa 0,474 MJ/kg, mistä 88 % lämpöä ja 12 % sähköä. Polttoaine Brasiliassa on ei-fossiilista puuta. Pitkistä kuljetusmatkoista johtuen soijan osuus kirjolohenkasvatuksen elinkaaren ilmapäästöissä on huomattava, lisäksi myös monivaiheinen soijan prosessointi kuluttaa runsaasti energiaa (taulukko 6).

Taulukko 6. Kalankasvatuksesta sekä vehnän ja soijan viljelystä aiheutuvat ravinne-kuormitukset tuotettua kirjolohitonna kohti ottaen huomioon sen tuottamiseen tarvittavat vehnä- ja soijamäärät (Reusser 1994, Grönroos 1999).

	Kalankasvatus	Vehnänviljely	Soijanviljely	Yht.
Typpi, kg/t	63,4	1,72	5,2	70,32
Fosfori, kg/t	8,0	0,36	0,119	8,48

Lisäksi rehun raaka-aineina käytetään mm. vitamiineja sekä väri- ja sideaineita. Näiden massaosuus on vain muutamia prosentteja, eikä näin ollen kovin merkittävä kokonaisuuden kannalta. Valmistusprosesseista on vaikea saada tietoa etupäässä liikesalaisuuksien takia.

Pakkaukset

Rehun pakkaukseen käytetään n. 500 kg:n suursäkkejä ja 25 kg:n piensäkkejä. Säkki-en koko voi olla myös 800 kg. Piensäkkejä kuluu 2,7 kg/t ja suursäkkejä 2,5 kg/t. Piensäkin raaka-aine on polyeteeni, suursäkin polyeteeniä 40 % ja -propeenä 60 % (Sipilä 1999, Nappa 1999). Piensäkin valmistus kuluttaa energiaa 0,5-0,6 kWh/säkki,

suursäkin taas 3 kWh/säkki. Liuotinpäästöjä syntyy yhteensä 2,25-4,5 g/piensäkki ja 15 g/suursäkki koostuen etyyliasetaatista ja isopropanolista (Sipilä 1999). Polyeteenin ja polypropeenin elinkaaritietoina tutkimuksessa käytetään Borealis Polymers Oy:ltä saatuja yleiseurooppalaisia elinkaaritietoja.

2.4 Kansanterveydelliset ja sosioekonomiset seikat

2.4.1 Kala ihmisravintona

Kalaa pidetään ravitsemuksellisesti arvokkaana sen sisältämien pitkäketjuisten rasvahappojen vuoksi. Kalan omega-3-sarjan monitydyttymättömiä rasvahappoja ei esiinny muissa elintarvikkeissa. Kala sisältää myös kivennäisaineita, erityisesti kalsiumia, rautaa, fosforia, magnesiumia ja kuparia, runsaasti A-, D- ja E-vitamiineja sekä B-ryhmän vitamiineista tiamiinia, riboflaviinia ja pyridoksaania (Rastas *et al.* 1996). Kirjolohen jodipitoisuus vaihtelee välillä 10-28 µg/kg nahatonta filettä (Elintarvikevirasto 1992). Saynorin ja Ryanin (1991) eskimotutkimus on osoittanut, että kalaravinto ehkäisee sydän- ja verisuonitauteja, vähentää sydäninfarktivaaraa, laskee verenpainetta ja veren kolesterolipitoisuutta (Juvankoski *et al.* 1998). Valtaosa kuluttajista pitää kalaruokaa terveellisempänä kuin liharuokaa (Honkanen ja Setälä 1997).

Kaluruoan ongelmana ovat korkeammat ympäristömyrkkypitoisuudet kuin liharuoalla. Kasvatuskirjolohen dioksiini- ja PCB-pitoisuudet ovat kuitenkin selvästi alemmat kuin esim. silakalla (taulukko 7).

Taulukko 7. Kasvatuskirjolohen, kalastetun silakan sekä sian- ja naudanlihan ympäristömyrkkypitoisuuksia. Dioksiinipitoisuudet ja PCB silakalla ja kirjolohella ITEQ-toksisuus-ekvivalentteina pg/kg sekä tuorepainovertailu-arvona että rasvasta, muut pitoisuudet tuorepainovertailuarvoina µg/kg.

	Kirjolohi	Silakka	Sika	Nauta	Lähde
Dioksiini, pg/g	0,738	9,3***			Hallikainen 2000
Dioksiini, rasva	8,9	226***	<0,1	<0,2	Hallikainen 2000, Hallikainen <i>et al.</i> 1995
PCB	1,48	15***			Hallikainen 2000
PCB, rasva	16,93	394***	11,4	22-36	Hallikainen 2000, Mustaniemi <i>et al.</i> 1995
DDT	20	3-60*			Vuorinen <i>et al.</i> 1993
Hg	30-50**	20-70*	11	12	EELA 1996 (rasvasta)
Cd	<2 **	10-60*	1	1	Venäläinen <i>et al.</i> 1999
lyijy	30**	10	10	10	Rastas <i>et al.</i> 1989, Hahti 1991, Venäläinen <i>et al.</i> 1999

*Kiesvaara *et al.* 1992, **Elintarvikevirasto 1992, ***Vartianen ja Hallikainen 1995

2.4.2 Työllistävät ja taloudelliset seikat

Työllistäviä ja taloudellisia seikkoja tutkitaan Jyväskylässä tehtävässä tutkimuksessa kalankasvatuksen sosioekonomisista seikoista. Tutkimustulokset ovat käytettävissä myös tässä tutkimuksessa.

2.5 Ympäristönsuojelun tavoitteet

Tavoitteet kalankasvatusten ympäristökuormitusten pienentämiselle on esitetty valtakunnallisessa Vesiensuojelun tavoiteohjelmassa (Ympäristöministeriö 1998). Koko Itämeren koskevat kansainväliset HELCOM-tavoitteet (taulukko 8). Vesiensuojelun tavoiteohjelman vuodelle 2005 lähtötaso on vuoden 1993 tilanne, josta on tavoitteena Suomen kalankasvatuksen typpi- ja fosforikuormituksen vähentäminen 30 %:lla. Tällöin kirjolohenkasvatuksen typpikuormitus lisäkasvukiloa kohden olisi 44 g/kg ja fosforikuormitus 7 g/kg. Voimassaolevan HELCOM-suosituksen tavoitteet ovat vastavasti typpi 70 g/kg ja fosfori 8 g/kg (HELCOM 1999).

Kalankasvatustoiminnan vesistökuormituksen vähentämisessä yksinkertaisinta on pyrkiä vähentämään itse kasvatustapahtumassa käytettävien ravinteiden määrää rehun koostumusta ja ruokintajärjestelyjä optimoimalla. Osin samoin menetelmin voidaan myös parantaa saavutettavaa kasvatustulosta. Sisäiset toimenpiteet eivät aiheuta kalankasvatustilanteiden toteutettuna huomattavan suuria investointitarpeita ja maksavat yleensä itsensä takaisin ajan myötä parempina tuotantotuloksina. Karkeana arvona voidaan olettaa kaikkien ns. sisäisten toimien parhaimmillaan vähentävän kuormitusta suuruusluokaltaan 20-40 %:n vuoden 1993 tilanteeseen verrattuna. Pelkästään sisäisiä kuormitusta vähentämällä voidaan siis Saaristomeren, Selkämeren rannikon ja Ahvenanmaan alueella arvioida päästävän kokonaiskuormitukseen 80 t fosforia ja 700 t typpeä, kun vuoden 1993 kuormitus oli 116 t fosforia ja 808 t typpeä (Tiainen *et al.* 1996).

2.5.1 Kuormitus ja muut ympäristövaikutukset

Kalankasvatuksen kuormitusten aiheuttamia ympäristövaikutuksia arvioidaan kalankasvatuksen elinkaaritutkimuksen vaikutusarviointi-vaiheessa, jonka on määrä käynnistyä toukokuussa 2000. Aiheesta on runsaasti kirjallisuutta, jota on referoitu tarkemmin Kalankasvatuksen prosessikuvaus-raportissa (Silvenius 2000). Kalankasvatuksen kuormituksen haitallisuutta lisää se, että pääosa siitä tulee vesistöön touko- ja lokakuun välisenä aikana (Kirkkala 1998). Tutkimustulokset ravinteiden käyttökelpoisuudesta leville vaihtelevat suuresti: Kirjallisuudessa on toisaalta mainittu suurimman osan kuormituksesta olevan lähes välittömästi leville käyttökelpoista, esim. Perssonin mukaan (1988) yli 80 % kalankasvatustilanteiden kokonaistyyppistä on liukoissa muodoissa ja näin ollen käyttökelpoista primaarituotannolle. Erään tutkimuksen mukaan 1/8 rehun ja 1/3 ulosteen fosforista olisi pysyvästi sitoutunut leville käyttökelpottomaan muotoon (Ruohonen ja Vielma 1994). Kuitenkin uusimpien tutkimustulosten mukaan näyttäisi siltä, että ravinteiden käyttökelpoisuus on huomattavasti Perssonin arviota alhaisempi: Ekholmin (1999) mukaan nykyisin käytössä olevien kalajauhoa sisältävien rehujen fosforista 35 % oli leville käyttökelpoisessa muodossa, ja rehua syöneiden kalojen ulosteista 27 %.

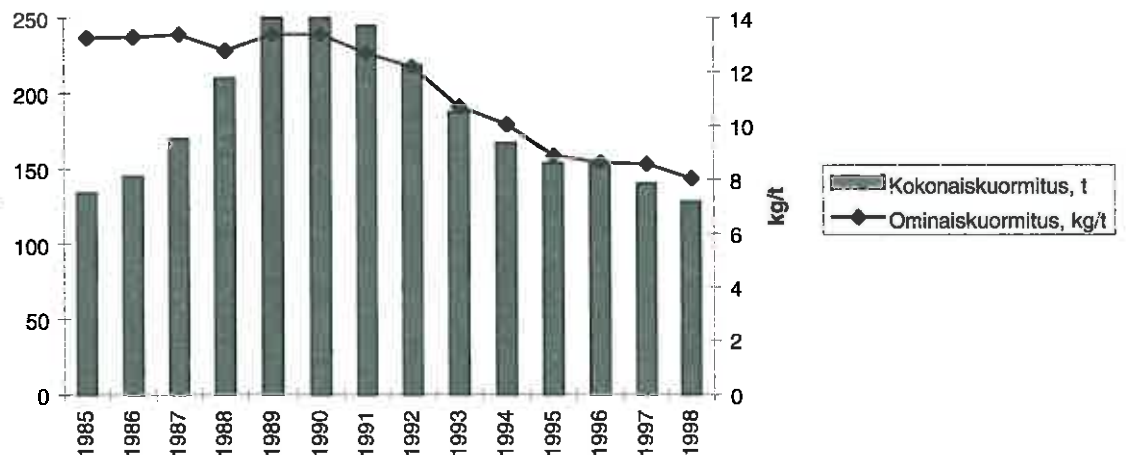
Rehevöityminen

Kalankasvatuksen vaikutus ympäristöön on aina tapauskohtaista, joten yleispäteviä ennusteita on mahdotonta laatia (Midlen ja Redding 1998). Kalankasvatustilanteiden ravinnepäästöistä typpi ja fosfori ovat vesien koko tuotantoketjua ajatellen ns. minimitekijöitä, joiden niukkuus säätelee perustuotannon ja siten koko vesistön rehevyytensä. Sisävesialueella minimitekijä on yleensä fosfori, Suomenlahdella, keskisellä Itämerellä sekä Selkämeren ulappa-alueella taas typpi näyttää olevan leväkasvustoa rajoittava tekijä (Tamminen 1983, Vesi- ja ympäristöhallitus 1988).

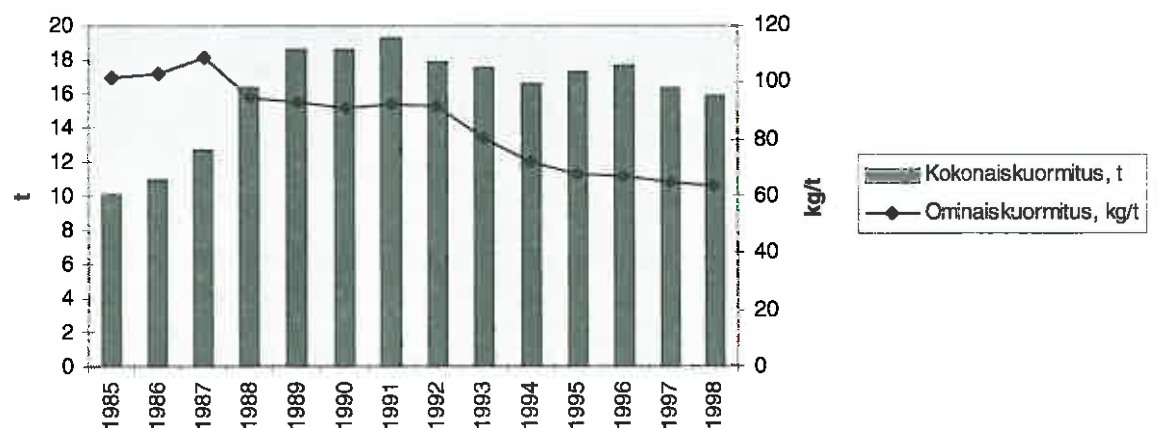
Ravinnekuormitus

Suomen ympäristökeskuksen (1999) ylläpitämien virallisten kuormitustilastojen mukaan kalankasvatuksen aiheuttama valtakunnallinen ravinnekuormitus oli vuonna 1998 128 tonnia fosforia ja 1 008 tonnia typpeä. Kalankasvatustoiminnan osuus on noin 3 % Suomen alueelta peräisin olevasta fosfori- ja vajaat 2 % typpikuormituksesta (Wideskog 2000, Silvo 1999). Samanlainen tilanne on myös muissa Euroopan maissa: maatalouden ja yhdyskuntajätevesien aiheuttamat ravinnekuormitukset ovat selvästi suurimmat (Midlen ja Redding 1998). Alueellisesti erot ovat suuria: kalankasvatus aiheuttaa prosentuaalisesti suurimman osuuden typpi- ja fosforikuormituksesta Kustavin ja Taivassalon merialueella, Houtskararin ympäristössä, Rymättylän salmissa Hiittisten merialueella sekä Ahvenanmaalla (Kirkkala 1998, Tiainen *et al.* 1996).

Kalankasvatuksen fosfori- ja typpikuormituksen kasvu koko maan tasolla on pysähtynyt aikajaksolla 1989-1993 (Tiainen *et al.* 1996). Kuormitus suhteessa tuotantoon on vähentynyt viimeisen parin vuoden aikana, johtuen pääosin rehujen kehittymisestä ja rehukertoimen laskusta (Norrgård 1999b, kuvat 5 ja 6).



Kuva 5. Kalankasvatuksen aiheuttama fosforikuormitus Suomessa Suomen ympäristökeskuksen tilastojen mukaan 1985-98 (Silvo 1999).



Kuva 6. Kalankasvatuksen aiheuttama typpikuormitus Suomessa Suomen ympäristökeskuksen tilastojen mukaan 1985-98 (Silvo 1999).

Typpi- ja fosforikuormitusten suuruuden ja niiden aiheuttamien ympäristövaikutusten arviointi on oleellisin osa kalankasvatuksen elinkaariarviointia. Ongelmia aiheutuu ravinnekuormitusten erilaisista vaikutuksista eri ympäristöissä sekä kuormitusten suurissa vaihteluissa laitoksittain. Näin ollen parhaita rehuja käyttävä laitos kalankasvatukseen sopivassa ympäristössä voi olla huomattavasti ympäristöystävällisempi kuin mitä keskimääräisistä arvoista voisi päätellä.

Luonnon monimuotoisuus

Rehevöityminen on uhka luonnon monimuotoisuudelle, joten luonnon monimuotoisuus on yksi vaikutusarvioinnin parametreista. Kalalajien erilaisista lisääntymisstrategioista johtuen ympäristömuutoksilla on hyvin erilaisia vaikutuksia eri lajeihin (Koivisto ja Blomqvist 1988). Kasvavalla ravinnelisäyksellä tiedetään olevan haitallisia vaikutuksia kalataloudellisesti merkittäviin lajeihin, kuten lohikaloihin, kun taas ahvenkalat ja erityisesti särkikalat hyötyvät rehevöitymisestä tiettyyn rajaan saakka (esim. Colby *et al.* 1972, Nümann 1972, Hartmann ja Nümann 1977, Leach *et al.* 1977, Svärdson ja Molin 1981, Leopold *et al.* 1986, Persson *et al.* 1991).

Karkulaiset

Karkulaisongelmaa ei ole pidetty Suomessa kovin vakavana kysymyksenä. Kirjolohi ei ole Suomessa luontaisesti esiintyvä laji ja verkkoaltaista karkuun päässeiden kirjolohien lisääntymistä luonnonolosuhteissa ei ole juurikaan todettu, joten kalankasvatus ei karkaamisien kautta ole uhka suomalaisille kalakannoille suoranaisesti, eikä myöskään geneettisen vaikutuksen kautta. Myöskään kalataudit eivät rokotusten tehostumisen myötä sanottavasti leviä kasvattamoilta luonnonkalakantoihin. Sen sijaan Norjassa karkuun päässeet lohet ovat muodostaneet uhan Atlantin lohen luonnonvaraisille kannoille. Karkulaisongelmaa pidetäänkin Norjassa suurimpana kalankasvatuksen aiheuttamana ongelmana.

Etiikka

Kalankasvatukseen liittyviä eettisiä ongelmia voivat olla, paitsi ympäristövaikutukset yleensä, esim. luonnonvaraisiin kaloihin kohdistuvat vaikutukset. Myös kalastuksen ja kasvatuksen suhteista voidaan löytää asioita, joissa on mahdollista nähdä eettisiä ongelmia. Kaikkein eläinten pitoon liittyvä eläinsuojelu liittyy myös kalankasvatukseen ja kalojen kohteluun kasvatuksessa ja perkausvaiheessa. Mikään mainituista ongelmista ei ole vielä mainittavassa määrin ollut esillä suomalaisessa keskustelussa.

Muut päästöt

Kalankasvatuksesta syntyvät pääasialliset kiinteät jätteet, jotka päätyvät suurimmaksi osaksi hyötykäyttöön turkiseläinten ravinnoksi. Fileoinnin sivutuotteista osa jatkojalostetaan erilaisiksi tuotteiksi, joita käytetään ihmisravinnoksi ja osa päättyy että rehuksi. Lisäksi rehusäkit sekä kalojen pakkauksiin käytettävät styrox-laatikot päätyvät lopulta jätteeksi. Kiinteitä jätteitä syntyy myös rehun ja sen raaka-aineiden tuotannosta.

Ilmapäästöt

Kasvihuonekaasuna pidettyä hiilidioksidia pääsee ilmakehään lähinnä energiantuotannon ja kuljetusten johdosta. Muita ilmapäästöjä ovat pölypäästöt, hiilimonoksidi, rikin ja typen oksidit sekä erilaiset hajukaasut. Kalankasvatuksesta aiheutuvien ilmapäästöjen osuus valtakunnallisessa kokonaiskuormituksessa on kuitenkin koko sen elinkaarenkin huomioon ottaen häviävän pieni verrattuna kasvatuksesta aiheutuviin ravinnekuormituksiin vesistöissä (kohta 4.4, kuva 6).

Vertailua ympäristövaikutuksiin muissa pohjoismaissa

Vuonna 1992 kalankasvatuksen fosforikuormitus Ruotsissa oli 50 t eli alle 10 kg/t kalaa ja typpikuormitus 260 t eli 45 kg/t kalaa (Ackefors ja Olbrus 1996). Tanskassa fosforikuormitus oli 238 t eli 7,5 kg/t kalaa vuonna 1989 ja typpikuormitus 2 192 t eli 69,1 kg/t kalaa. Kalankasvatuksen typpi- ja fosforikuormitukset lienevät tuotantomäärään nähden Norjassa ja Suomessa suunnilleen samoja. Norjan fosforikuormitukseksi on esitetty vuodelle 1996 50 kg/t typpeä ja 7 kg/t fosforia (Direktoratet for Naturforvaltning 1999).

Norjalaiset eivät koe rehevöitymistä yhtä lailla uhkatekijäksi kuin suomalaiset, enemmän ollaan huolissaan mahdollisesti esiintyvien myrkkylevien vaikutuksesta kaloille sekä karkaavien lohien vaikutuksesta luonnonlohen perimään (Honkanen 1999). Norjassa on kuitenkin tutkittu kalankasvatuksen vaikutuksia pohjasedimenttiin. Norjalaisista kalankasvatusta käsitellään tarkemmin kohdassa 3.1.1.

3. Vertailtavat vaihtoehdot

3.1 Muut kalatuotteet ja vaihtoehtoiset tuotantomenetelmät

3.1.1 Vaihtoehtoisia kirjolohen tuotantomenetelmiä kuormituksen alentamiseksi

Sisäiset keinot

Valintajalostus

Kirjolohen rodunjaloitukseella voidaan nopeuttaa kasvua, myöhäistää sukukypsyyssikää ja parantaa filesaantoa ja rehun hyödyntämistehoa, jolloin vesistökuormitukset vähenevät. Jalostustoiminnolla voidaan myös alentaa kalan tuotantokustannuksia, kuolleisuutta ja tautiherkkyyttä (Tiainen *et al.* 1996, Pursiainen 1992). Suomessa kirjolohen jalostusohjelman tavoitteisiin kuuluu kahden kasvukauden tuotantokierto ilman aikaistettua starttia. Jalostettujen kalojen yleistyminen käytössä vie kuitenkin hyvin pitkän ajan (Sillman-Valle 1999).

Ruokinta

Ruokinta tapahtuu suomalaisessa jatkokasvatuksessa käsin tai automaattisesti. Ruokinnan saaminen tarkasti kalan tarpeita ja kasvupotentiaalia vastaavaksi vähentää rehuhukkaa ja parantaa näin rehukerrointa. Ruokinnan kehittämisessä voidaan käyttää apuna tekniikkaa (Mäkinen 1999), jonka avulla Norjassa onkin päästy eräissä kokeissa jo rehukertoimeen 0,86 (Aquasmart1999).

Ruokinnan optimoinnissa keskeisellä sijalla ovat kalojen energiantarpeen arviointi ja odotettu kasvutulos erilaisissa ympäristöoloissa (Mäkinen ja Ruohonen 1992). Sulavan valkuaisaineen määrä sulavan rehun määrään rehussa, eli ns. PE-suhde on tärkeä rehun hyväksikäytön kannalta (Ruohonen ja Vielma 1994). Kalat tarvitsevat kasvuunsa enemmän proteiineja, mutta vähemmän energiaa kuin muut kaupallisesti tuotetut eläimet. Vaikka kala pystyy hyödyntämään proteiineja hyvin tehokkaasti, rehun proteiinipitoisuus rehussa on silti oltava korkea (Hepher 1988).

Rehun ravinnepitoisuuksia ja kehitysnäkymiä

Kalankasvatuksen elinkaariarvioinnin kannalta rehukerros sekä rehun ravinnepitoisuudet ja ravinteiden käyttökelpoisuus leville ovat oleellimmat seikat, koska niistä riippuvat kalankasvatuksen ravinnekuormituksen suuruus ja ympäristövaikutukset. Rehukertoimen aleneminen vähentää luonnollisesti myös kalankasvatuksen tuotantokustannuksia. Rehun käyttömääriä ja ravinnepitoisuuksia säätelevät myös kalojen ravitsemukselliset vaatimukset. Niinpä tässä tutkimuksessa onkin otettava huomioon mahdollisuuksien mukaan rehujen kehitysmahdollisuudet ja niiden vaikutus rehukertoimeen ja ravinnekuormitusten määrään ja laatuun.

Kuivarehujen fosforipitoisuus on vähentynyt vuoden 1975 15 g/kg:sta nykyiseen 9-12 g/kg:an. Kasvintuotannon tarkastuskeskuksen (KTTK) aineistojen 1997-98 mukaan kuivarehujen fosforipitoisuus oli keskimäärin 1,15±0,5 %, ja vakuustodistusten mukaan keskimäärin 0,95 %. Kuivarehujen typpipitoisuus on kuivarehuilla n. 7% ja eroa KTTK:n mittausten ja vakuustodistusten keskimääräisillä arvoilla oli 0,05 prosenttiyksikköä (Wideskog 2000). Suurimmat fosforipitoisuudet ovat rehuissa, jotka on tarkoitettu poikasten kasvatukseen (Salo ja Sundell 1996). Rehun sisältämä typpi ja

fosfori ovat konsentroituneet proteiineihin. Viime aikoina rehun proteiini- ja hiilihydraattipitoisuudet ovat vähentyneet ja rasvapitoisuudet lisääntyneet (Ackefors ja Enell 1994). Nykyiset rehut muistuttavatkin koostumukseltaan lohikalojen luontaista ravintoa (Ruuhonen ja Vielma 1998).

Vähäfosforista kuivarehua tehdään käyttämällä mahdollisimman vähän fosforia sisältäviä kalajauhoja ja korvaamalla kalajauhoa vähäfosforisilla raaka-aineilla, kuten soijatuotteilla (Ruuhonen ja Vielma 1994, Miettinen 1993). Saavutettavissa oleva fosforipitoisuus riippuu pitkälti siitä, kuinka suuri osa rehujen kalajauhoista voidaan korvata kasvisperäisillä valkuaisaineilla. Typen imeytyminen rehusta on hyvä, yli 90 %, mutta fosforin vain noin 50 % tai vähemmän. Fosforikuormituksen pienentämiseksi tulisikin kiinnittää huomiota fosforin imeytymisen ja käyttökelpoisuuden lisäämiseen, typpikuormituksen pienentämiseksi taas kalojen valkuaisaineenvaihduntaan sekä typen ja energian suhteeseen rehussa (Tiainen *et al.* 1996, Ruuhonen ja Vielma 1994, 1998).

Vuonna 1998 RKT:n Rymättylän laitoksella tutkittiin kalajauhon korvaamista 75-prosenttisesti soijaproteiinilla, jolloin rehun fosforipitoisuus putosi 1,1 %:sta 0,7 %:iin. Fosforikuormitus laski lukuun 4,5 g P/kg lisäkasvua. Melko matala rehujen valkuais- taso ja hyvä rehukerroin laskivat myös typpikuormituksen 36-38 g/kg:an. Typen ja fosforin kuormitustaso, joka pitäisi saavuttaa vuoteen 2005 mennessä alitettiin siis tässä kokeessa (Vielma *et al.* 1999). Leväestien perusteella kalajauhoa sisältävän kontrollirehun fosforista 35 % oli leville käyttökelpoisessa muodossa, soijarehun fosforista taas 23 %. Kontrollirehua syöneiden kalojen ulosteista 27 % oli leville käyttökelpoisessa muodossa, soijarehua syöneiden ulosteista vain 9 % (Ekholm 1999). Rehuker- roin oli hyvin tasainen, 1,1-1,12 ja kuolleisuus 2-3 %, ilman eroja eri rehujen välillä. Lopputuloksena soijaproteiinilla ruokitut kalat olivat 90 g suurempia kuin kalajauho- rehulla ruokitut kalat ja niiden perkaushävikki oli 0-5 %-yksikköä pienempi (Vielma *et al.* 1999). Vielma (1998) esittääkin, että rehuissa tullaan käyttämään nykyistä enemmän kasvipäisiä raaka-aineita ja vähemmän kalajauhoa, jolloin ravinnekuormi- tus pienenee. Rehuissa saatetaan tulevaisuudessa käyttää myös entsyymejä ravinteiden imeytymisen parantamiseksi. Soijaproteiinitäydennyksen valkuaisaine on noin 30 % kala- jauhoa kalliimpaa, mutta soijaproteiinin hinta suhteessa kalajauhon hintaan vaihtelee.

Tuorerehua käytettäessä vesistökuormitus on suurempi kuin kuivarehulla ruokittaessa. Myös semimoist-rehun käytöstä aiheutuvat fosforikuormitukset on arvioitu kuivarehu- ja suuremmiksi (Mustajärvi 1999). Näin ollen tuore- tai semimoist-rehujen käyttöön siirtyminen ei pienennä kalankasvatuksen ravinnekuormituksia. Lisäksi tuorerehuna käytettävän silakan dioksiinipitoisuudet ovat tällä hetkellä liian korkeat siihen, että sitä voitaisiin käyttää kirjolohien ruokintaan.

Ulkoiset keinot

Umpiallaslaitokset

Sekä Suomessa että ulkomailla on kokeiltu lietesuppiloita ja suljettuja muovikankaasta rakennettuja altaita eli umpialtaita. Pussin umpinaisuuden vuoksi kaikki syömättä jää- nyt rehu ja kalojen ulosteet kertyvät pussin pohjalle, josta ne on esim. pumpaamalla määrääjain poistettava (Tiainen *et al.* 1996). Umpiallasta ei voida sijoittaa tuulisille ja avoimille vesialueille. Allas voidaan sijoittaa vain suhteellisen suojaisiin paikkoihin, jossa vesisyvyys on vähintään 10 m (Niinimäki *et al.* 1991). Uusimman kotimaisen kokeen, jonka tuloksia on käytettävissä tähän tutkimukseen, suppilomenetelmällä on tehnyt Paavo Ristola Oy (1998),

Kirjolohen umpiallaskasvatuksesta on tehty useita tutkimuksia (Niinimäki *et al.* 1991 Kehitysaluerahasto 1987, Leminen *et al.* 1986, Sokka 1986, Jokela 1999, Helminen 2000). Tutkimustuloksiksi on raportoitu jopa 50 %:n fosfori- ja typpireduktioita me- reen päätyvässä fosforimäärässä, mutta käytännössä arviot ovat liian optimistisia. Osa lietteeseen päätyvästä fosforista ja kiintoaineesta on näet peräisin meriveden mukana

tulleista päällykslevistä yms., eikä hukkarehusta ja ulosteista. Menetelmä on vielä prototyypivaiheessa, eikä sen kaikista ominaisuuksista olla tarkoin selvillä.

Ahvenanmaalle on vuonna 1995 tehty kustannusarvio merellä sijaitsevalle umpiallaslaitokselle, jolla kalojen vuotuinen lisäkasvu olisi noin 80 tonnia. Investointikustannusten laskettiin olevan noin 2,2 miljoonaa markkaa ja käyttökustannusten arvioitiin olevan noin 1,50-2,00 mk:n lisäkustannukset/kg kalaa (Niinimäki *et al.* 1991). Erään laskelman mukaan 1 milj. kg:n kalankasvatusmäärän sijoittaminen umpiallaslaitoksiin vaatisi 25 milj. markan suuruiset investoinnit, jolloin kustannusvaikutukset olisivat noin 5-6 mk/kg kalaa (Tiainen *et al.* 1996). Tämä on liian paljon suhteessa kirjolohi-tuotannon keskimääräiseen kasvattajien saamaan markkinahintaan, joka oli 17,05 mk/kg vuonna 1999 (Kalanviljely vuonna 1999), varsinkin, kun elinkeinon kannattavuus on muutenkin ollut huono viime aikoina. Laskettuna 25 %:n saavutettavalla fosforireduktiolla ja esim. 4 mk/kg lisänä tuotantokustannuksiin sisältäen sekä investointi-, että käyttökustannukset saadaan kustannuksiksi poistettua fosforikilogrammaa kohden 1 600 mk, kun taas esim. Viiknimen asumajätevedenpuhdistamon vuotuiset käyttökustannukset ja investointien poistot ovat alle 300 mk poistettua fosforikilogrammaa kohden (Helsingin Vesi Oy 1999). Umpiallasmenetelmän fosforireduktiokapasiteettia ja kustannuksia tulisi vielä kehittää, jotta vaihtoehto olisi realistinen kirjolohenkasvatukselle.

Saksassa on kokeiltu lietesuppiloita kirjolohenkasvatuksessa makeassa vedessä, kalatiheys 15 kg/m³ ja koko 60 - 350 grammaa. Partikulääristä fosforia saatiin talteen 25-30 %. Partikuläärisen fosforin määräksi oletettiin 40 % rehun sisältämästä määrästä ja rehun fosforipitoisuudeksi 1 %. Kustannuksiksi saatiin 0,39 DM/kg kalaa, eli 1,19 mk/kg, poistettua fosforikiloa kohden siis noin 10 000 mk (Wedekind *et al.* 1999).

Norjalaisten tutkimusten mukaan umpiallaslaitoksissa pystytään paremmin kontrolloimaan kasvatusolosuhteita ja näin nopeuttamaan erityisesti kalanpoikasten kasvua talvisaikaan. Pääomakustannukset ja energiankulutus ovat suurempia kuin tavallisilla verkkoallaslaitoksilla, joten lisätutkimuksia aiheesta tarvitaan edelleen myös Norjassa (Sandes ja Ervik 1999).

Jäteveden laskeutumattomat ja hitaasti laskeutuvat partikkelit voidaan poistaa siivilöimällä ja suodattamalla. Lietteen selkeyttämiseen voidaan käyttää mm. pyörreselkeyttimiä tai flotaatiomenetelmää. Selkeyttimiltä poistuvan lietteveden käsittelyyn käytetään erilaisia suodattimia, kuten turvesuodatusta. Pyörreselkeyttimen puhdistustehokkuus vaihtelee laajoissa rajoissa ollen fosforin osalta 20-50 % ja kiintoaineen osalta hyvissä olosuhteissa 55-70 % (Tiainen *et al.* 1996, Makkonen ja Pursiainen 1997). Esim. turvesuodatin ei yksin riitä varsinaisen pyörreselkeytin-lietteveden käsittelyyn, vaan lietteen tiivistämiseen, ylijäämäveden poistamiseen ja liuenneiden ravinteiden saostamiseen sekä mahdollisesti lietteen stabilointiin tarvitaan saostuskemikaaleja (Sellen *et al.* 1983, Mäkinen 1984). Itä-Suomen Keskuskalanviljelylaitoksen pyörreselkeyttimen läpimitta on 2,5 m, mitoitusvirtaama 23 l/s ja hinta 100 000 mk (Runeberg 1992).

Flotaatio on kehittynyt ja puhdistusteholtaan hyvä lietevesien käsittelymenetelmä. 15 minuutin viipymällä saadaan 95 %:n reduktio kokonaisfosfori-, kokonaistyyppi-, BHK-, ja bakteeripitoisuuksissa ja kiintoainereduktiokin on 90 % (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Flotaatio on kuitenkin investointi- ja käyttökustannuksiltaan varsin kallias menetelmä johtuen korkeapaineilmastuksesta ja kemikaalikustannuksista ja edellyttää huomattavaa tietoa ja taitoa käyttäjältään, jotta toimisi edellytystensä mukaisesti (Tiainen *et al.* 1996, Runeberg 1992). Vuonna 1988 flotaatiolaitos kapasiteetiltaan 20 l/s maksoi 450 000 mk ja vuosittaiset käyttökustannukset olivat 92 000 mk (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988).

Siivilöitä käytetään kalankasvatuksen jätevesien puhdistuksessa nykyisin lähinnä perkaamojätevesien käsittelyssä. Kolmiosiivilän puhdistustulos on hieman parempi kuin rumpusiivilöinnissä, kiintoaine jopa yli 90 % ja fosfori 70-80 %. 60 µm:n kolmiosiivi-

lä kapasiteetilla 40 l/s maksaa noin 70 000 mk, rumpusiivilä taas noin 150 000 mk (Tiainen *et al.* 1996, Runeberg 1992, Salo ja Sundell 1996).

Myös suodattimia on nykyisin käytössä lähinnä perkaamojätevesien käsittelyssä. Jatkoissa eri suodattimilla, erityisesti turvepohjaisilla, saattaa olla käyttöä myös lieteveden käsittelyssä (Tiainen *et al.* 1996). Sekä rumpu-, että mikro-suodattimella saadaan hyvä kiintoaineen erotuskyky, suuruudeltaan noin 70-90% ja riippuen liuenneen fosforin määrästä fosforireduktio 50-60 (jopa 80) % (Aarnipuro 1992).

Maalle rakennettu merilaitos

Norjaan on rakennettu vuosina 1988-1990 useita merilaitoksia maalle. Vesi poistuu altaista kanavia tai putkia pitkin, jolloin poistovesien käsittely on mahdollista umpiallasmenetelmä-kohdan yhteydessä mainituilla menetelmillä (Tiainen *et al.* 1996). Maalaitoksessa kala kasvaa 30 metrin syvyydestä otetussa vedessä, joten se on vähemmän alttiina tartunnoille ja leville kuin kala, joka elää pintavedessä. Myös poistovesi voidaan johtaa syvemmälle, jolloin paikallisen likaantumisen vaara vähenee (Litlehammar 1990). Liukoisen fosforin poistamiseen tarvitaan kemikaaleja. Maalaitos on karkausvarma, joten ei ole vaaraa, että karannut sairas kala tartuttaisi viljelylohen tai villin kannan.

Laitokset ovat kalliita rakentaa, n. 2 milj. NOK/1 000 m³, siis noin 1 500mk/m³. Jotta tarvittava kannattavuus saavutettaisiin, tulee laitoksia käyttää intensiivisemmin kuin perinteisiä merilaitoksia, eli tuotanto tulisi olla 50-60 kg/m³ (Tvinnereim 1990). Laskettaessa veden pumppauksen tarpeeksi 10 l/s tuotettua kalatonnaa kohti, saadaan pumppauskustannuksiksi 1,1 mk/kg olettaen nostokorkeudeksi 3 m ja energiahäviöt nolllaksi. Jos oletetaan kalatiheydeksi 80 kg/m³ ja jaetaan 1,5 miljoonan markan investointikustannukset kymmenelle vuodelle, tuotantokustannukset olisivat noin 3 mk/kg korkeammat. Norjassa on 1990-luvulla ollut toiminnassa kuusi maalle rakennettua merilaitosta, joista enää yksi on toiminnassa. Muut ovat kaatuneet teknisiin ja taloudellisiin ongelmiin, sekä kalasairauksiin (SFT 1998).

Kiertovesilaitos, jossa laitoksen läpi mennyttä vettä käytetään puhdistettuna ja käsiteltynä uudelleen tuotantoprosessissa, ratkaisisi lähes kokonaan kalankasvatuksen ympäristöongelmat (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Laitoksen perustamis- ja käyttökustannukset ovat kuitenkin suuret ja ne ovat häiriöherkkiä perinteisiin laitostyyppeihin verrattuna (Salo ja Sundell 1996). Laitoskoon on oltava suuri ja laitostoiminnan ympärivuotista ollakseen taloudellisesti kannattavaa. Oleellisin tekijä taloudellisesti on energiankulutus (Kananen ja Väyrynen 1989). Kiertovesijärjestelmää on kokeiltu Ruotsissa sekä Tanskassa, missä vuonna 1983 oli toiminnassa seitsemän kiertovesijärjestelmää, joista neljä laitosmittakaavassa. Kalatiheys kiertovesijärjestelmissä voi olla suuri, Tanskassa suunnitteluarvot ovat vaihdelleet välillä 20-150 kg/m³. Korvausveden määrä on 240 t vuodessa tuottavalle laitokselle 4-5 m³/d ruotsalaisten laskelmien mukaan. Investointikustannukset ovat suuret ja ruotsalaisen tutkimuksen mukaan 200 t vuodessa kirjalohta ja 850 000 kpl 50 g poikasta tuottavan laitoksen pääomakustannukset ovat vuodessa noin 4,5 milj. mk (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Pitkällä tähtäimellä veden kierrättäminen saattaa tarjota lupaavia näkymiä (Kananen ja Väyrynen 1989). Norjassa on tutkittu mahdollisuuksia käyttää teollisuuslaitoksilta tulevaa lämmitettyä vettä kalankasvatukseen. Kuitenkin vain muutama laitos toimii käytännössä (Sandes ja Ervik 1999). Kiertovesilaitosten ongelmana saattavat olla kalasairaudet.

Luonnonravintolammikot

Luonnonravintoviljelyyn käytetään joko luonnonlampia tai tähän tarkoitukseen rakennettuja lammikoita, joista mahdollinen entinen kalasto on hävitetty ja joihin kalanpoikaset istutetaan yleensä vastakuoriutuneina etupäässä keväällä. Lähes kaikki kalalajit sopivat luonnonravintoviljelyyn, mikäli ympäristötekijät ovat suotuisat (Janatuinen 1992). Luonnonravintolammikkoviljely vähentää kalatautien vaaraa, koska tiheydet ovat pienempiä kuin laitoksissa (Hakulin 1992). Käytännössä luonnonravintokasvatus

soveltuu vain poikasten tuottamiseen, ja vain kesänvanhojen poikasten tuottaminen istukkaiksi voi olla kannattavaa.

Keinotekoiset riutat

Eräänä uutena kalankasvatuslaitosten jätevesien puhdistusmenetelmänä on esitetty ns. keinotekoisia riuttoja. Tavoitteena on biofiltraatio, missä alustaan kiinnittynyt eliöstö suodattaa vedessä olevaa orgaanista ainesta sekä veteen liuenneita ravinteita. Menetelmänä riuttasysteemi on moniin muihin kalankasvatuksen ravinnepäästöjen vähentämiseksi kehitettyihin menetelmiin (esim. pyörreselkeyttimet) verrattuna niin halpa, että sen tarjoamia mahdollisuuksia kannattaisi selvittää. Keskikokoisen kalanviljelylaitoksen ravinnepäästöistä riutta voisi poistaa 15-25 %. Vaadittavan riutan suuruus olisi maksimissaan 5,5-12 ha (Hänninen 1996). Käytännön tietoa keinotekoisien riuttojen käytöstä kalankasvatuksen ravinnekuormitusten pienentämiseksi on kuitenkin liian niukasti olemassa tämän tutkimuksen tarkoituksiin. Esim. päällyskasvustoon sitoutuneiden ravinteiden korjaamista merestä ei ole selvitetty. Lisäksi tarvittavien riuttojen koko tekee niistä liian epäkäytännöllisiä.

Sijainnin ohjaus

Kalankasvatuksen ympäristövaikutukset kohdistuvat yleensä varsin pienelle alueelle kasvattamon läheisyyteen. Sijainninhjauksella onkin mahdollista vähentää runsaasti näitä haittoja ohjaamalla kalankasvatustoiminta hyviin laimentumisoloihin, etäälle meri- ja ranta-alueiden muista käyttäjistä (Tiainen *et al.* 1996). Erilaisilla malleilla pystytään päästelemään, millaiset alueet ovat soveliaita kalantuotantoon. Lisäksi voidaan arvioida, minkälaisia typpi- ja fosforikuormituksia laitoksella olisi varaa aiheuttaa (Wallin ja Håkansson 1991). Saaristomerellä uusia lupia voidaan myöntää lähinnä ulkosaaristossa tai muutoin poikkeuksellisen edullisissa olosuhteissa toimiville laitoksille (Hakala *et al.* 1994). Elinkaariarvioinnin kannalta sijainnin ohjaus on oleellinen tekijä vaikutusarviointivaiheessa.

3.1.2 Vaihtoehtoisia kalatuotteita kasvatuskirjolohelle

Viljelty kala

Uudet kalalajit

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos on käynnistänyt tutkimushankkeen, jonka tarkoituksena on edistää uusien viljelylajien pääsyä markkinoille (Koskela *et al.* 1998). Tutkimusten mukaan siialla, ahvenella ja kuhalla on vahva kysyntäpotentiaali, kun taas nieriän kysyntä arvioitiin pienemmäksi. Viljelytekniinen osaaminen todettiin siian viljelyssä vain tyydyttäväksi, nieriän viljelyssä taas osaamista löytyy. Lohen kasvattaminen ruokakalaksi edellyttää käytännössä 4-vuotis-, pienimpien yksilöiden osalta jopa 5-vuotiskiertoa, joista 2 ensimmäistä vuotta tapahtuu makeassa vedessä. Viljelykierto sitoo pääomaa pitkäksi ajaksi ja, esim. kirjolohen viljelyyn verrattuna, pienentää vuosittain myytävän kalan määrää (Koskela 1992) ja näin ollen myös viljelyn kannattavuutta.

Siika

Siikaa tuotettiin vuonna 1996 ruokakalaksi arviolta 100 000 kg, josta tuotanto lienee jo kaksinkertaistunut. Ruokakalan tuotantokierto on siialla nykyisin kolme vuotta, josta yksi vuosi sisämaassa poikaslaitoksella ja kaksi seuraavaa meressä verkkoaltaissa (Määttä 1998). Myös tuotanto makeassa vedessä on mahdollista (Rissanen 1990). Viime aikoina on siian kasvatusta edelleen tutkittu aiheina mm. kuolleisuuden pien-

täminen, ruokintamenetelmien ja siiankasvatukseen sopivien rehujen kehittäminen koskien mm. partikkelikokoa sekä rehun koostumusta (Koskela *et al.* 1999). Siian prosessoinnissa perkuujätteitä syntyy 10 %, eli selvästi vähemmän kuin kirjolohella. Fileiden massat ovat siialla ja kirjolohella samaa suuruusluokkaa kalan kokonaismassaan nähden, eli siialla nahallinen file 56 % ja nahaton file 48 % kalan kokonaismassasta (Vihervuori *et al.* 1997).

Tutkimustulosten mukaan kuolleisuus on pienentynyt merkittävästi rokotteiden käytön johdosta. Lisäksi siian valkuaisainetarve saattaa olla pienempi kuin kirjolohella, jolloin siiankasvatuksen ravinnekuormitukset suhteessa käytettyyn rehumäärään ovat pienemmät. Kasvatetulla siialla ei ole ulkomaisia kilpailijoita, joten viljely on tähän mennessä ollut kannattavaa. Rehukerroin on samaa luokkaa kuin kirjolohella ainakin koeolosuhteissa (Koskela *et al.* 1999), mutta on käytännössä korkeampi kuin kirjolohella (Lankinen 1999). Siika olisi siis kotimaassa kasvatettavista kalalajeista kaikkein potentiaalisin vaihtoehto kirjolohelle. Elinkaariarvioinnin kannalta ongelmana on saatavilla olevien tietojen vähyys ja epävarmuus. Siiankasvatuksen optimointi mm. rehun koostumuksen suhteen on lisäksi vielä kesken.

Norjalainen Lohi

Norjalaisen lohien markkinaosuus on kasvanut Suomessa jatkuvasti (Ks. kohta 2.2, kuva 4). Vuonna 1998 käytettiin tuontilohta ja kirjolohta yhteensä 6 700 tonnia, josta norjalaista lohta 4 632 t ja kirjolohta 1 340 t (Kalan ulkomaankauppa 1998), kun suomalaisen kirjolohien tuotanto oli 15 900 t (Kalanviljely 1998). Norjalaisen lohien tuotantokustannukset ovat laskeneet jatkuvasti, mikä selittää tuotteen kilpailukykyyn parantumisen. Vuonna 1997 lohikilogramman tuotantokustannukset olivat 19,84 NOK, eli 14,40 mk, josta rehun osuus oli 8,60 NOK ja poikasten 3,00 NOK (Aalvik 1999). Vuoden 1985 tuotantokustannukset olivat 50 NOK/kg (Sandnes ja Ervik 1999). Markkinahinta vuonna 1998 oli 20,92 NOK, eli 15,23 mk, kun Suomessa kirjolohien määrällä painotettu tuottajahinta oli 16,65 mk/kg (Rossi 2000). Euroopan Unionin asettama minimihinta norjalaiselle lohelle on 3,25 euroa eli 19,32 mk.

Norjassa käytetty rehu on peräisin neljästä yrityksestä, joista kolme kansainvälisiä. Kulutettu rehumäärä 1998 oli 577 000 tonnia, josta tilastoidun tuotantomäärän perusteella laskemalla saadaan rehukertoimeksi 1,4 (Aalvik 1999). Keskimääräiseksi rehukertoimeksi mainitaan Norjassa vuonna 1995 1,19 ja vuonna 1996 1,14, tuotantokustannukset vuonna 1995 18,72 NOK ja vuonna 1996 17,10 NOK. Rehukertoimella ei siis liene merkittävää eroa suomalaisessa ja norjalaisessa kalankasvatuksessa. Rehun koostumus on seuraavanlainen (% tuorepainosta): 40 % proteiinia, 35 % rasvaa, 10 % hiilihydraatteja, 10 % vettä ja 5 % tuhkaa. Raaka-aineista 70-80 % on peräisin merestä (Sandnes ja Ervik 1999). Teuraspainon ja merikasvatusajan pituus eri vuosina: 1993 4,27 kg ja 17 kk, 1994 4,13 kg ja 14 kk sekä 1995 3,75 kg ja 13 kk (Sandnes ja Ervik 1999).

Perkuujätteitä Atlantin lohesta muodostuu 12 %, suomalaisella kirjolohella taas 17-18 % (Gjedrem 1986, Austreng ja Meland 1977, Larsson 1983, Aalvik 1999). Vuonna 1995 jätteistä meni Norjassa hyötykäyttöön 91 % (Sandnes ja Ervik 1999), Suomessa taas turkiseläinten ravinnoksi menevä osuus on noin 80 %. Tässä ei siis ole merkittäviä eroja. Näyttäisi siltä, että antibiootteja käytetään Norjassa vähemmän kuin Suomessa suhteessa tuotantomäärään (taulukko 4). Kohdassa 2.7.1 on esitetty tietoja myös muiden Pohjoismaiden kalankasvatuksesta.

Antifouling-materiaalin käyttö ei Norjassa ole kokonaisuutena laskenut ollenkaan, vaikka tavoitteena olikin vähentää luontoon päätyvän kuparin määrää 80 % vuoden 1991 tasosta. Kuitenkaan käyttömäärät eivät ole suuresti nousseet, vaikka tuotantomäärät ovat kasvaneet: Vuonna 1991 käytettiin 119 tonnia ja vuonna 1998 174 tonnia (Sandnes ja Ervik 1999), siis 427,5 g/kg. Suomalaisista käyttömääristä ei ole tietoja.

Suurempi laitostekniikka mahdollistaa prosessitekniisesti kalliimmat ja monipuolisemmat investoinnit kuin Suomessa. Eri tuotantomenetelmiä ja laitteistoja on kokeiltu ja on käytössä enemmän kuin Suomessa, mm. perkaamot ovat koneistetumpia (Honkanen 1999). Norjalaisen lohen kuljetusmatka Suomen markkinoille on pitempi kuin kotimaisen kalan. Kaiken kaikkiaan näyttäisi siltä, että merkittävimmät erot suomalaisessa ja norjalaisessa kalankasvatuksessa elinkaariarvioinnin kannalta ovat kuitenkin ravintekuormitusten erilaisissa ympäristövaikutuksissa, jotka taas johtuvat viljely-ympäristöjen eroista.

Kalastettu kala

Silakka

Ammattikalastajien kalansaaliista merialueella, 119 000 tonnia vuonna 1998, pääosa eli 86 000 tonnia, oli silakkaa. Vuoden 1998 Kansainvälisen Itämeren kalastuskomission IBSFC:n saaliskiintiö Itämeren pääaltaalle ja Suomenlahdelle oli 560 000 tonnia, josta Suomen osuus oli 36 400 tonnia (Pönni 1998, Ammattikalastus merialueilla 1998). Jäljelle jäävästä osuudesta 27 000 tonnia on kilohailia. Muiden kalalajien saaliit merialueilla ovat vuosittain alle 2 000 tonnia ja sisävesialueilla tärkeimmän saaliskalan, muikun saalis oli vuonna 1998 vain 2 400 tonnia (Ammattikalastus merialueilla 1998), joten silakka on kalastetusta kotimaisesta kalasta ainoa vaihtoehto kasvatuskirjolohelle käytettäväksi tässä tutkimuksessa.

Silakkasaaliista 42 227 t on saatu pelagisella troolilla, ja 35 566 t pohjatroolilla, silakkatroolareita oli vuonna 1995 yhteensä noin 150 (Pönni 1998, Ammattikalastus merialueilla 1998). Varsinais-Suomen TE-keskuksen mukaan polttoaineen kulutus silakkamäärää kohden on 0,1 l/kg kalaa, jolloin energiankulutus on 4,2 MJ/kg (Lillsunde 1999), eli enemmän kuin Ranteen (1995) esittämä 2,7 MJ/kg. Jäähdytys ja jalostus fileeksi kuluttaa 3,7 MJ/kg (Ranne 1995). Silakan troolikaluksessa 15 tonnin keski-saaliin pakkaamista varten tarvitaan noin 1 000 vastaavanlaista styrox-laatikkoa kuin kirjolohien pakkaamiseen ja lisäksi sata konttia. Muovilaatikoihin pannaan yleensä 33 kiloa silakkaa ja jäitä päälle kymmenisen prosenttia kalan painosta.

Itämeren pääaltaan, Riianlahden, Saaristomerén ja Suomenlahden silakkakannan kutevien yksilöiden lukumäärä on kasvanut 1980-luvun alusta 30 prosentilla, mutta kutukannan biomassa on pienentynyt 60 % vuodesta 1974 (Pönni 1998). Selkämerellä silakan lisääntyminen on onnistunut keskimääräistä heikommin vuoden 1993 jälkeen ja jos silakan kalastusta jatketaan siellä nykyisellä tahdilla, on todennäköistä, että myös saaliit pienenevät (Pönni 1998). Silakoiden pituudessa tai iässä ei ole tapahtunut oleellisia muutoksia huolimatta silakkasaaliin kasvusta. Lisäksi silakan ja kilohailin tehokkaalla pyynnillä on monenlaisia myönteisiä vaikutuksia Itämeren tilaan (Parmanne 1996). Silakan perkuujätettä syntyy 15 % kalan massasta, eli vähemmän kuin kirjolohella. Fileerausjätettä syntyy kuitenkin enemmän, sillä nahallisen fileen massa on 41 % ja nahattoman vain 30 % silakan kokonaismassasta (Vihervuori *et al.* 1997).

Proteiinia merilohi sisältää vertailluista kalalajeista eniten ja kirjolohi vähiten. Rasvaa kirjolohi sisältää eniten ja silakka vähiten. A-vitamiinia kirjolohi sisältää eniten ja merilohi vähiten, muuten tutkittujen kalalajien vitamiinipitoisuudet ovat suurin piirtein samat (taulukko 8).

Taulukko 8. Merilohen ja silakan keskimääräisiä ravintoarvoja verrattuna kirjoloheen lähteenä Fineli - elintarvikkeiden koostumustietopankki.

Ravintoaine	Ravintoainesisältö			
	Kirjolohti	Merilohi	Silakka	
Energia	819,5	817,2	421,0	kJ
Proteiini	8,4	18,7	14,8	g
Rasva	18,3	13,5	4,6	g
Tyydyttyneet	1,8	1,2	0,9	g
Kertatyydyttymättömät	3,9	2,0	1,1	g
Monityydyttymättömät	2,6	2,2	1,1	g
Kolesteroli	66,0	86,0	122,0	mg
Hiilihydraatti	0,0	0,0	0	g
Ravintokuitu	0	0,0	0	g
A- vit. RE	19,0	4,7	8,0	µg
D-vit.	7,8	13,6	17,0	µg
E-vit.	1,9	2,2	2,0	mg
B1-vit.	0,1	0,1	<0,1	mg
B2-vit.	0,2	0,2	0,2	mg
K-vit.	-	0,4	0,2	µg
C-vit.	0	0,0	0,0	mg
Natrium	52,0	43,0	41,0	mg
Kalium	400	400	300	mg
Kalsium	127,0	16,0	71,0	mg
Magnesium	25,0	25,0	22,0	mg
Rauta	0,4	0,4	0,6	mg

Kasvatetun ja kalastetun kalan elinkaaren ympäristövaikutuksissa suurin ero on vesistöön päätyvällä ravinnekuormituksella. Kalastuksesta ei aiheudu ravinnepäästöjä vesistöön lukuun ottamatta merellä poisheitettyjä sivusaaliita, eikä kalastetun kalan elinkaareen myöskään kuulu rehun ja sen raaka-aineiden tuotantojärjestelmää. Mereen heitettävän sivusaaliinkin osuuden Pönni (2000) arvioi suhteellisen vähäiseksi, sillä vain pieni osa silakkaa kalastavista troolareista on erikoistunut kalastamaan ihmisravinnoksi tarkoitettua silakkaa. Itämerestä kalastetun kalan, kuten silakan, huonona puolena kasvatuskirjoloheen nähden on kuitenkin korkea dioksiinipitoisuus. Elinkaariarvioinnin kannalta suuri ongelma onkin ihmiselle dioksiinista muodostuvan mahdollisen terveyshaitan arvottaminen suhteessa kalankasvatuksen ravinnepäästöihin. Lisäksi silakkaa ei arvosteta ruokakalana samalla tavalla kuin kirjolohta (Järvinen 2000), joten sosioekonominen tarkastelu elinkaaritarkastelun lisäksi on perusteltua suorittaa verrattaessa kirjolohta ja silakkaa toisiinsa.

Luonnon lohi

Lohen saalis vuonna 1997 Itämerellä oli noin 3 100 tonnia, mistä Suomen osuus oli 1 410 tonnia. Vuonna 1998 saalis pienentyi edelleen 720 tonniin (Ammattikalastus merialueilla 1998). Määrä on varsin vähäinen verrattuna kirjolohen tuotantoon, 17 500 tonnia. Itämeren kokonaislohisaalis on pienentynyt lähes puoleen huippuvuoden 1990 saaliista (Pakarinen *et al.* 1998). Kansainvälinen merentutkimusneuvosto (ICES) suosittelee luonnonkannoista peräisin olevan lohen rauhoitusta (Pakarinen *et al.* 1997). Lohen istutuksia säädellään kansainvälisillä sopimuksilla, joten suomalaista saalista ei ole mahdollista kasvattaa edes istutusmääriä lisäämällä (Ranta-aho 1999).

3.2 Muut elintarvikkeet

Aiemmin tehtyjä elintarvikkeiden elinkaaritutkimuksia

Elintarvikkeiden LCA-tutkimukset ovat yleensä cradle-to-gate-tutkimuksia, joissa jälleenyntiä tai ruoan valmistusta kotona ei ole huomioitu, vaikka suuria tuotantohävikkejä ja energiankulutusta tapahtuukin näissä vaiheissa (Lindeijer ja Meeusen 1998). Ongelmana elintarvikkeiden elinkaaritutkimuksissa on tuotantojärjestelmien laajuus ja monimutkaisuus sekä yleisten tietokantojen puuttuminen. Monille tuotteille tuotannon mittakaava on oleellinen muuttuja (Andersson ja Ohlsson 1995). Elintarvikkeiden elinkaaritutkimuksissa korostuvat muihin tuotteisiin nähden maankäytön merkittävä osuus, hajanaiset emissiot, emissiot suoraan maaperään ja vaikutukset eläinten hyvinvointiin. Tuotteiden elinikä on lyhyt, mikä lisää tuotehäviöiden merkittävyyttä (Weidema *et al.* 1995).

Vuoteen 1994 mennessä elintarvikealaa koskevia LCA-tutkimuksia oli tehty tanskalaisen selvityksen mukaan 11. Tutkittuja tuotteita olivat mm. vihannekset, viljatuotteet, pop corn, ketsuppi, maitotuotteet, hampputuotteet, alkoholituotteet sekä sian-, naudan ja linnunliha (Weidema *et al.* 1995). Tutkimuksissa on lähinnä pyritty etsimään pääasialliset ympäristöä kuormittavat tekijät ja tehty erilaisia vertailuja: luomutuotanto verrattuna perinteiseen, biotuotanto, tai -materiaali verrattuna korvaavaan, biopolttoaine verrattuna fossiilisiin, erilaisten viljelymenetelmien vertailua jne. (Ceuterick 1998).

3.2.1 Kasvatuskirjoloheen vertailu sian- ja naudanlihaan

Sianliha

Aikaisemmat elinkaaritutkimukset

Tanskalaisessa tutkimuksessa (Weidema *et al.* 1995) on selvitetty siankasvatuksen ympäristökuormitukset varsin seikkaperäisesti. Ongelmana on lähinnä tulosten soveltaminen suomalaisiin olosuhteisiin. Kyseisen tutkimuksen arvoja on käytetty hyväksi myös ruotsalaisessa sianlihan elinkaaritutkimuksessa (Johanisson ja Ohlsson 1998). Kotimaista tietoa siankasvatuksesta lienee ainoastaan Ranteen (1995) ”Elintarvikkeiden energiakertymät”-teoksessa.

Johanissonin ja Olssonin (1998) tutkimuksessa toiminnallisena yksikkönä on kilo luuontonta, teurastuksen ja paloittelun jälkeen jalostamatonta sianlihaa valmistettuna. Rajauksiin sisältyy rehun raaka-aineiden tuotanto, jalostus, primaaripakkaukset, jakelu, vähittäismyynti ja kuluttaja sekä kuljetukset vaiheiden välillä. Tutkimus keskeytettiin inventaarioanalyysiin. Laskettuja parametreja ovat käytetty energia sekä hiilidioksidi-, NOx- ja metaanipäästöt. Tutkimus perustuu suurelta osin kirjallisuustietoihin, mutta osin myös spesifiin yritystietoihin (Johanisson ja Ohlsson 1998).

Ravintoarvo verrattuna kirjoloheen

Sianliha sisältää proteiinia ja rasvaa suunnilleen yhtä paljon kuin kirjolohi. Proteiinia sianliha sisältää selvästi enemmän. Kirjolohi sisältää selvästi enemmän D- ja E-vitamiineja (taulukko 9).

Taulukko 9. Sianlihan keskimääräinen ravintoainesisältö verrattuna kirjolohen keskimääräiseen ravintoainesisältöön suhteessa 100 grammaan syötävää tuotetta lähteenä Fineli - elintarvikkeiden koostumustietopankki.

Ravintoaine	Ravintoainesisältö		
	Kirjolohi	Sianliha	yks./100g syötävää tuotetta
Energia	819,5	913,0	kJ
Proteiini	8,4	18,3	g
Rasva	18,3	16,3	g
Tyydyttyneet	1,8	5,5	g
Kertatyydyttymättömät	3,9	6,2	g
Monityyydyttymättömät	2,6	2,0	g
Kolesteroli	66,0	76,3	mg
Hilihydraatti	0,0	0,0	g
Ravintokuitu	0	0	g
A- vit. RE	19,0	16,0	µg
D-vit.	7,8	0,5	µg
E-vit.	1,9	0,5	mg
B1-vit.	0,1	0,9	mg
B2-vit.	0,2	0,3	mg
K-vit.	—	0,3	µg
C-vit.	0	0,0	mg
Natrium	52,0	62,9	mg
Kalium	400	300	mg
Kalsium	127,0	7,2	mg
Magnesium	25,0	17,5	mg
Rauta	0,4	0,9	mg

Tuotannon prosessikuvaus ja ympäristövaikutuksia

Prosessikuvausta ajatellen sekä kirjolohen että sian kasvatukseen kuuluu rehuntuotanto ja kuljetukset sekä itse kasvatusprosessi. Kirjolohen perkausta vastaa sianlihantuotannossa teurastus. Kirjolohen perkausjätteet menevät suurelta osin turkiseläinten rehuksi, kun taas sian teurastuksen jätteet prosessoidaan suureksi osaksi liha- ja luujauhoksi, jota käytetään edelleen eläinten rehuksi ainakin toistaiseksi. Lisäksi sivutuotteita ovat sianlihantuotannossa luut ja kirjolohentuotannossa fileerausjätteet.

Siankasvattaminen kuluttaa suhteessa enemmän rehua kuin kalankasvatus ja raaka-aineet ovat suuremmaksi osaksi maataloustuotteita, joten sianlihan elinkaareen kuuluu enemmän maatalouden aiheuttamia kuormituksia kuin kirjolohen. Lisäksi siankasvatus aiheuttaa huomattavasti enemmän ammoniakki- ja metaanipäästöjä ilmakehään kuin kalankasvatus.

Toisaalta kirjolohenkasvatuksen ravinnekuormitus päättyy kokonaisuudessaan vesistöön, kun taas siankasvatuksessa vesistöön päättyy vain huuhtoutuva osa kuormituksesta. Sianlanta voidaan olettaa menevän hyötykäyttöön, kun sitä käytetään lannoitteena, mutta toisaalta sianlannan käytöstä lannoitteena aiheutuu ravinnekuormituksia valuman kautta myöskin vesistöön. Vesistöön päätyvä osuus on suhteessa tuotantomäärään silti kuitenkin huomattavasti pienempi kuin kasvatuskirjolohella. Oleellisena tekijänä kasvatuskirjolohen ja lihatuotteiden LCA-vertailussa onkin huuhtoutuman suuruuden arviointi ja erilaisten ravinnepäästöjen merkittävyyden arviointi suhteessa toisiinsa. Muita tutkittavia seikkoja sian- ja kalankasvatuksen vertailussa voisivat olla sosioekonomiset seikat, kuten kokonaiskustannukset, tuottavuus, työllistyvyys sekä tuotteiden ravintoarvo. Näiden parametrien arvottamisessa suhteessa ravinnepäästöihin voi ilmetä ongelmia tutkimuksen lopputulosta ajatellen.

Naudan liha

Aikaisemmat elinkaaritutkimukset

Naudanlihan elinkaariselvitykset rajoittuvat maitotuotteista tehtyihin tutkimuksiin, joista on mahdollista saada naudanlihan elinkaaritietoja allokointimenettelyä käyttämällä. Tutkimuksia on tehty sekä Ruotsissa (Cederberg 1998), että Suomessa (Pulliainen 1996). Myös Suomen ympäristökeskuksessa on tällä hetkellä käynnissä maitotuotteiden elinkaaritutkimus, jonka tiedot ovat tutkimuksen käytettävissä. Cederberg (1998) on allokoanut maitokarjantuotannon ympäristökuormituksista 85 % maidolle ja 15 % lihalle.

Ravintoarvo verrattuna kirjoloheen

Kirjolohi sisältää selvästi enemmän energiaa ja rasvaa kuin naudanpaisti, naudanpaisti taas sisältää enemmän proteiineja. Lisäksi kirjolohi sisältää enemmän monitydyttymättömiä rasvahappoja sekä D- ja E-vitamiineja kuin naudanliha ja naudanliha sisältää enemmän rautaa kuin kirjolohi (taulukko 10).

Taulukko 10. Naudanlihan keskimääräinen ravintoarvo verrattuna kokonaisen kirjolohen syötävän osan ravintoarvoon laskettuna 100 grammaa syötävää tuotetta kohden lähteenä Fineli - elintarvikkeiden koostumustietopankki.

Ravintoaine	Ravintoainesisältö		
	Kok. kirjolohi	Naudanpaisti	/100g
Energia	819,5	638,9	kJ
Proteiini	8,4	19,3	g
Rasva	18,3	8,4	g
Tyydyttyneet	1,8	2,3	g
Kertatyydyttymättömät	3,9	1,9	g
Monitydyttymättömät	2,6	0,3	g
Kolesteroli	66,0	73,6	mg
Hiilihydraatti	0,0	0	g
Ravintokuuti	0	0	g
A- vit. RE	19,0	17,0	µg
D-vit.	7,8	0,2	µg
E-vit.	1,9	0,5	mg
B1-vit.	0,1	<0,1	mg
B2-vit.	0,2	0,2	mg
K-vit.	-	0,5	µg
C-vit.	0	0,0	mg
Natrium	52,0	51,5	mg
Kalium	400	300	mg
Kalsium	127,0	6,6	mg
Magnesium	25,0	20,6	Mg
Rauta	0,4	2,5	mg

Tuotannon prosessikuvaus ja ympäristövaikutuksia

Naudanlihan tuotanto ei ole biologisesti yhtä tehokasta kuin sianlihan. Teurasjätteitä syntyy suhteessa enemmän ja lisäksi rehukerroin on suurempi (Ranne 1995). Naudanlihan elinkaariarvioinnissa törmätään useisiin allokointiongelmiin, kuten allokointi maitotuotteiden ja lihan välillä sekä allokointiongelmaan varsinaisten lihasonniin ja lypsykarjan kasvatuksen välillä. Lihasonniin kasvatukselta ei ole tehty elinkaariarviointia, vaan tutkimus perustuisi kokonaan lypsykarjasta tehtyihin tutkimuksiin. Tämä voi vääristää tutkimuksen lopputulosta. Muuten naudanlihan ja kasvatuskirjolohen vertailun pääkohdat ovat samat kuin sianlihan ja kasvatuskirjolohen vertailussa.

Broilerintuotannon vertailua lohienkasvatukseen

Broilerista tehtyä elinkaariselvitystä ei toistaiseksi ole löytynyt. Forster (1999) on kuitenkin vertaillut keskenään broilerin ja lohien tuotantoa. Broileri on nopeampi tuottaa: Broileri saavuttaa teuraspainon 45 päivässä, kun lohella siihen menee noin 1½ vuotta. Broilerin rehukerroin on 1,9, eli huomattavasti huonompi kuin lohella. Kuitenkin broilerinrehu on halvempaa tuottaa: näin ollen ruokintakustannukset suhteessa tuotettuun broilerimassaan ovat lähes kolme kertaa pienemmät kuin lohella suhteessa kokonaisuutensa. Kalanrehun tekevät kalliimmaksi pigmenttien sekä kalliimpien proteiinien ja rasvojen käyttö. Lohesta on kuitenkin noin 60 % käyttökelpoista ihmisravinnoksi, ja tämä osa on laadultaan tasaista. Broilerilla taas parasta osaa, kuten rintapaloja on vain 14,8 % elopainosta. Kokonaisuutena syötäviä osia on alle 40 % broilerin elopainosta. Laskettuna syötävien osien tuotantoa kohden ruokintakustannukset ovat lohentuotannossa enää kaksinkertaiset broileriin nähden, missä on vielä otettava huomioon se, että jäljellejäävästä 40 %:kin suuri osa on heikompileatuista. Lisäksi huomioitaessa kananpoikien tuotanto broilerin rehukerroin nousee 2,5:en (Reinertsen ja Haaland 1994). Lohi on huomattavasti hedelmällisempi kuin kana ja muut karjaeläimet, joten sulusolujen tuotantoon kuluva rehumäärä on erittäin pieni. Huomioitaessa nämä seikat lohien tuotantokustannukset ovat enää 1,4 kertaa korkeammat kuin broilerilla. Tulevaisuudessa Forster (1999) olettaa, että kalankasvatus voi hyvin olla taloudellisesti siipikarjantuotantoa kannattavampaa, kun ottaa huomioon rehujen kehitys- ja ruokinnanoptimointimahdollisuudet. Elinkaariarvioinnin kannalta broilerin tuotannosta syntyy siis enemmän jätteitä kuin kalankasvatuksesta suhteessa ihmisravinnoksi kelpaavaan tuotantomäärään.

4. Esiselvityksen pohjalta tehdyt ratkaisut

4.1 Tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteista on tähän mennessä selvitetty pääpiirteittäin kalankasvatuksen elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset ja vaiheet, joista pääasialliset ympäristöepäkohdat aiheutuvat.

Jatkossa arvioidaan:

- vaihtoehtoisten kalankasvatuksen tuotantotapojen ympäristövaikutuksia suhteessa toisiinsa
- vaihtoehtoisten elintarvikkeiden elinkaaren aikaisia ympäristökuormituksia ja vaikutuksia suhteessa kasvatuskirjoloheen
- kalankasvatuksen sosioekonomisia vaikutuksia pohjautuen Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen tutkimushankkeen tuloksiin.
- saatuja tuloksia elinkelpoisen kalankasvatuselinkeinon kannalta tehokkaimman ympäristöpolitiikan ja kestävä kehityksen linjauksia varten.

Lisäksi pureudutaan tarkemmin pääasiallisiin kalankasvatuksesta aiheutuviin ympäristöepäkohtiin sekä vaiheisiin, joista ne aiheutuvat. Erityisesti tullaan kiinnittämään huomiota ravinnekuormitusten pienentämismahdollisuuksiin erilaisilla sisäisillä ja ulkoisilla menetelmillä, joiden tehoa ja kustannuksia pyritään arvioimaan suhteessa toisiinsa. Tutkimuksen lopputuloksena julkaistaan mahdollisimman objektiivista ja läpinäkyvää tietoa elinkeinon aiheuttamista eduista ja haitoista. Tarkempi suunnitelma tutkimuksen etenemistä esitetään kohdassa 5. Hankkeen alkuperäiset tavoitteet taas on esitetty kohdassa 1.2.3.

4.2 Aineisto

4.2.1 Käytössä oleva aineisto

Käytettävissä on virallisiin tilastoihin perustuvat kirjolohen tuotantomäärät ja rehun myyntimäärät Suomessa. Ravinnekuormituksista on myös käytettävissä viralliset kuormitustilastot, jotka on laskettu perustuen rehunvalmistajien ilmoituksiin rehun fosfori- ja typpipitoisuuksista sekä virallisiin rehun ja kirjolohen myyntimääriin Suomessa. Rehun myyntimääriä sekä kirjolohen tuotanto ja kuormitustilastoja on käsitelty tarkemmin kohdissa 2.1, 2.5.4 ja 2.7.

Rehun valmistuksen ympäristökuormituksista käytettävissä on kolmen suurimman kalanrehua Suomessa myyvän yrityksen valmistustietoja. Tutkimuksessa käytetään keskimääräisiä arvoja näistä tiedoista. Rehun raaka-aineista kalaöljyn, -jauhon ja soijatuotteiden käytettävissä olevat valmistustiedot perustuvat pääosin kirjallisuuteen ja asiantuntijalausuntoihin. Vehnänkasvatuksesta on saatu Suomen ympäristökeskuksen LCA-aineistoa, jossa lannoitetiedot ovat Kemira Chemicals Oy:ltä. Pakkausten valmistamisesta on yrityskohtaisia tietoja yhdeltä valmistajalta pakkaustuotetta kohden, pakkausmateriaalien LCA-tiedot taas perustuvat yleiseurooppalaisiin tietokantoihin, kuten LCA-tutkimuksissa yleensäkin. Antifouling-materiaalin kuparipitoisuus on tie-

dossa yhdeltä valmistajalta. Kalaöljyn ja kalajauhon raaka-aineen kalastuksesta on vain suuntaa antavaa kirjallisuustietoa.

Vertailtavista vaihtoehtoista sianlihasta on käytettävissä tanskalainen LCA-tutkimus ja siihen pohjautuva tutkimus, joka on osin sovellettu ruotsalaisiin olosuhteisiin. Naudanlihasta on käytettävissä vain maitotuotteiden elinkaaritutkimuksia, jotka on kohdennettavissa naudanlihalle allokointimenettelyä käyttäen. Silakasta on käytettävissä tuoreita elinkaaritietoja Varsinais-Suomen TE-keskuksen tutkimuksesta. Norjalaisesta kalankasvatuksesta on tiedossa lohien ja kirjolohien kasvatusmäärät, rehun kulutus- ja koostumustietoja, antibioottien käyttötietoja sekä arvioitua tietoa kalojen karkausmääristä. Vaihtoehtoisista kirjolohien kasvatusmenetelmistä on tietoa vain muutamista koikeista, joista monet ovat 1980-luvulta saakka.

4.2.2 Kerättävä

Lisätietoja tarvitaan vertailtavien vaihtoehtojen, kuten kalastuksen ja siankasvatuksen, sosioekonomisista puolista, esim. työllistävydestä. Oleellisin tekijä kalankasvatuksen elinkaareissa on kasvatustoiminnasta aiheutuva ravinnekuormitus, joten lisätietoja tarvitaan rehukertoimen ja ravinnekuormitusten kehitysnäkymistä sekä vaihtelusta eri laitojen kesken. Lisäksi tutkimuksen käyttöön tarvitaan lisäaineistoa erilaisten rehuvaihtoehtojen käytön vaikutuksista ravinnekuormitukseen. Norjalaisen kalankasvatuksen ravinnekuormituksesta ja niiden vaikutuksista ympäristöön tarvitaan lisätietoja. Myös suomalaisten ravinnepäästöjen ympäristövaikutuksista tarvitaan lisätietoja. Jos naudanliha halutaan ottaa mukaan tarkasteluun, tarvittaisiin myös tietoa varsinaisten lihasonnien kasvatuksen eroista lypsykarjan kasvatukseen. Verrattaessa sian ja kirjolohien kasvatusta toisiinsa olisi hyödyllistä korvata osa tanskalaisista tiedoista suomalaisilla.

Kalajauhon- ja -öljyn sekä soijatuotteiden valmistuksesta on mahdollista saada tarkempaa tietoa Tanskassa meneillään olevasta kalankasvatuksen elinkaaritutkimuksesta. Antifouling-materiaalin käyttömääristä Suomessa tarvittaisiin tarkempia tietoa - norjalaista tietoa aiheesta on kuitenkin olemassa.

4.3 Vertailukohteiden valitseminen

Vertailtavien vaihtoehtojen ominaisuuksia on käsitelty tarkemmin kohdassa 3.

Norjassa kasvatetun lohien ja kirjolohien tuonti Suomeen on viime aikoina lisääntynyt voimakkaasti, joten norjalaiset lohituotteet ovat selkeästi vaihtoehto kotimaisille kasvatuskirjolohituotteille. Näin ollen norjalaisen tuontilohien kasvatuksen ympäristövaikutuksia verrattuna kotimaassa tuotettuun kirjoloheen olisi pyrittävä vertailemaan tutkimuksessa.

Kalastettua kalaa pidetään selkeästi ympäristöystävällisempänä vaihtoehtona kasvatuskirjolohelle. Suomalaisesta kalansaaliista vain silakkasaaliit ovat määrältään edes lähellä kasvatuskirjolohien tuotantomääriä. Silakan kalastuksesta on lisäksi tekeillä elinkaariselvitys Varsinais-Suomen TE-keskuksessa, joten materiaalia silakan kalastuksen ympäristövaikutuksista on helposti saatavilla. Näin ollen silakan kalastuksen ympäristökuormitusten vertailu suhteessa kirjoloheen on perusteltua. Kalastetun kalan laajemmalle käytölle ihmisravintona on ongelmana erilaiset ympäristömyrkyt, kuten dioksiini sekä kalansaaliiden riittävyys.

Vaihtoehtoisista tuotantomenetelmistä suuren yleisön mielenkiinnon ovat herättäneet maa-altaat ja umpiallasmenetelmä. Ne voitaisiin ottaa lyhyesti case-tapauksina mukaan tarkasteluun arvioimalla kuinka suuret menetelmien käyttö- ja investointikustannukset ovat suhteessa poistettuun fosforimäärään. Menetelmien investointi- ja käyttö-kustannukset ovat korkeat, tuotantokustannukset nousisivat noin 20% .

Lisäämällä soijan osuutta rehussa ollaan kalankasvatuksen ominaiskuormitusta onnistuttu pienentämään kokeellisesti jopa 4,5 g P/kg:en lisäkasvua. Soijavalkuainen on tiivisteenä kalliimpaa kuin kalajauho, mutta soijaraaka-aineen käyttöä lisäämällä valtakunnalliset ja kansainväliset kuormitustavoitteet pystyttäisiin täyttämään ilman kalliita ja hankalasti toteutettavia ulkoisia puhdistusmenetelmiä. Tutkimuksen eräänä aiheena voisi siis olla soijaraaka-aineeseen siirtymisen ja ulkoisten puhdistusmenetelmien käytön aiheuttamien lisäkustannuksien vertailu suhteessa niillä saavutettavaan kalankasvatuksen ominaiskuormituksen vähenemiseen. Rehukertoimen pienentämiseen liittyvät erilaiset skenaariot voisivat myös olla osa tutkimusta.

Lisäksi tutkimuksessa voitaisiin vertailla kirjolohenkasvatusta sisävesillä ja merialueilla sekä tarkastella pintapuolisesti sian- ja naudanlihan tuotannon aiheuttamia ympäristöepäkohtia suhteessa kalankasvatukseen. Sian- ja naudanliha eivät ravintoarvoltaan ole kalatuotteita korvaavia, joten vertailu keskittyisi vain joihinkin pääasiallisiksi katsottuihin parametreihin. Vertailuvaihtoehdoista epärealistista olisi tutkia esim. luonnonlohen kalastuksen lisäämistä johtuen jo ennestään tiukoista kalastuskiintiöistä ja rajoituksista istutusmäärille. Vertailtavat vaihtoehdot on koottu taulukkoon 11 ja vertailun ulkopuolelle jätettävät vaihtoehdot taulukkoon 12.

Taulukko 11. Vertailtavat vaihtoehdot

Vaihtoehto	Mukaanottoeruste
Norjalainen lohi (2.2, s.4, 2.4, s.5, 2.7.1, s.16, 3.1.2, s. 22)	Suuri markkinaosuus Suomessa Käytännössä ominaisuuksiltaan samanlainen tuote
Silakka (3.1.2, s. 23)	Myös kalatuote Kalastettu kala vaihtoehtona viljellylle kalalle Suuri vuosisaalis, joten realistisesti korvaava kalavaihtoehto kirjolohelle
Sianliha (3.2.1, s.25)	Saatavilla tanskalaista ja ruotsalaista LCA-dataa
Naudanliha (3.2.1, s.27)	Saatavilla maitotuotteiden LCA-dataa, jotka voidaan allokointimenetelmää käyttäen kohdistaa naudanlihalle
Erialaisten rehujen vertailu (3.1.1, s. 17-18)	Käytännössä toimivaksi ja taloudelliseksi tiedetty menetelmä vähentää kalankasvatuksen kuormitusta
Umpiallasmenetelmä (3.1.1, s. 18)	Suuren yleisön tiedossa oleva menetelmä vähentää kalankasvatustalon ravinnekuormituksia
Makean veden maalaus	Selvittää alueellisia eroja
Maalle rakennettu merilaitos (3.1.1, s.20)	Suuren yleisön tiedossa oleva menetelmä vähentää kalankasvatustalon ravinnekuormituksia

Taulukko 12. Vertailun ulkopuolelle jätettävät vaihtoehdot

Kalastettu Itämeren lohi (3.1.2, s.25)	Saalismäärät liian pieniä korvaamaan kasvatuskirjoloheh käyttöä Saalismäärien kasvattaminen tällä hetkellä mahdollista
Muu kalastettu kala kuin silakka (3.1.2, s. 23)	Liian pienet saalismäärät
Broileri (3.2.2, s. 28)	Ei saatavilla olevaa LCA-tietoa
Kasvatettu siika (3.1.2, s.22)	Ei tällä hetkellä riittävästi saatavilla olevaa tietoa. Mahdollista ottaa mukaan tutkimukseen, mikäli lisätietoja saadaan.
Muut viljeltävät kalalajit (3.1.2, s. 21-22)	Hyvin pienet tuotantomäärät Ei riittävästi saatavilla olevaa tietoa
Luonnonravintolammikot (3.1.1, s.21)	Kirjolohekasvatus ei ole mahdollista suuressa mitakaavassa luonnonravintolammikoissa
Keinotekoiset riutat (3.1.1, s.21)	Ei riittävästi saatavilla olevaa tietoa
Erialaisten poikaslaitosten lietteenkäsittelymenetelmät (2.5.1, s.6, 3.1.1, s. 19-20)	Poikaslaitosten aiheuttama ravinnekuormitus on pieni verrattuna jatkokasvatukseen.

4.4 Rajaukset

Tainnutuksessa käytetty hiilidioksidi voidaan jättää tutkimuksen ulkopuolelle, koska hiilidioksidikaasu kerätään kaasunkeräysjärjestelmillä muista prosesseista. Se on siis muun teollisuuden sivu-/jätetuote. Hiilidioksidin käyttömäärä on noin 1 kg/t kalaa, joten kuljetusten osuus on tällöin vain promille esim. kalojen kuljetuksista kasvattamolta jatkojalostukseen. Kaasupullojen käyttöikä on pitkä, joten myös ne voidaan jättää tutkimuksen ulkopuolelle. Kehikoiden ja verkkoallasmateriaalin merkitys elinkaariarvioinnin kannalta on niin vähäinen johtuen pitkästä käyttöajasta, että nekin voidaan jättää huomioimatta.

Kirjallisuustiedot antibioottien aiheuttamista ympäristövaikutuksista sijoittuvat ajanjaksoihin, jolloin lääkkeitä käytettiin enemmän. Tämänhetkisillä käyttömäärillä sekä luontoon päätyvät määrät että niiden ympäristövaikutukset ovat pienemmät. Antibioottien käytön ympäristövaikutuksia lienee järkevää arvioida ainoastaan kvalitatiivisesti.

Tietojen puutteen johdosta tutkimuksen ulkopuolelle joudutaan jättämään mm. soija-proteiinin valmistus soijarouheesta sekä kasvinsuojeluaineiden, antifouling-materiaalin ja lääkkeiden valmistusprosessit. Antifouling-materiaalista tutkimuksessa huomioidaan vesistöön päätyvä kuparikuormitus, vaikka sen suuruuden arviointi onkin vaikeaa, koska käyttömäärät ja tuoteominaisuudet vaihtelevat. Muut antifouling-materiaalin sisältämät vesistöön päätyvät komponentit on valmistajalta saatujen tietojen perusteella arvioitu merkityksettömiksi, koska ne eivät sisällä ympäristölle haitallisia aineita.

Raakaveden puhdistusprosessi jätetään tutkimuksen ulkopuolelle, koska se kuluttaa energiaa ainoastaan 0,17 kWh/m³, eikä määrä ole merkittävä kokonaisuuden kannalta. Prosessin muut ympäristökuormitukset eivät myöskään ole merkittäviä. Rehusäkkien kuljetusmatkat ovat lyhyitä, eivätkä näin ollen aiheuta merkittäviä ilmapäästöjä. Pakkausten valmistuksesta on käytössä valmista elinkaariadataa, jotka on helppo sijoittaa suoraan tutkimukseen.

Kalaöljyn ja kalajauhon valmistuksesta ja niiden raaka-aineiden kalastuksesta voidaan tutkimuksessa käyttää suuntaa antavaa kirjallisuustietoa, ellei tarkempia tietoja ole saatavilla erilaisista kontakteista. Rehun valmistuksessa käytetään keskimääräisiä tietoja suomalaisesta rehunvalmistuksesta. Soijan viljelystä käytetään jo olemassaolevaa kirjallisuustietoa, vehnän viljelystä taas Suomen Ympäristökeskuksen aineistoa vehnänkasvatuksen ympäristökuormituksista. Myös pakkausmateriaalien, kuten esim. polyteenin ja -propeenin osalta käytetään tätä tarkoitusta varten saatuja elinkaaritietoja käyttämällä niissä tehtyjä rajauksia ja oletuksia. Itse pakkausten, kuten styrox-laatikoiden ja rehusäkkien valmistustiedoiksi riittänevät yksittäisiltä valmistajilta saadut tiedot. Rehukertoimen arvoa ja vaihtelua selvitetään lisäksi kasvatuspaikkakohtaisella otannalla, esim. puhelinkyseluin tms. menetelmällä. Lisäksi tutkitaan sitä, miten nämä arvot muuttuvat käytettäessä erilaisia rehuja tai kalankasvattamon toimiessa optimaalisesti. Tehdyt rajaukset ja niiden perusteet on koottu taulukkoihin 13 ja 14.

Taulukko 13. Rajauksiin sisältyvät osaprosessit

Osaprosessi	Mukaanottoeruste
Jatkokasvatus	Aiheuttaa pääosan ravinnekuormituksista
Perkaus	Aiheuttaa hetkellisesti korkeita pistekuormituksia Pääosa kasvatuskirjoloheen elinkaaren aikaisista kiinteistä jätteistä on perkuujätteistä
Rehun valmistus (2.5.4, s. 10)	Osuus energiankulutuksesta suuri
Kalajauhon ja -öljyn valmistus (2.5.4, s.10)	Osuus energiankulutuksesta suuri Raaka-aineen kalastuksesta aiheutuneet ilmapäästöt merkittävät
Vehnän viljely (2.5.4, s. 11)	Saatavilla tutkimukseen valmiiksi sovellettavaa LCA-dataa
Soijan kasvatus ja prosessointi (2.5.4, s. 11)	Pitkät kuljetusmatkat Soijan käytön alentaa merkittävästi rehun ravinnekuormituksia
Styrox-pakkaukset (2.5.3, s. 9)	Saatavilla tutkimukseen valmiiksi sovellettavaa LCA-dataa
Rehusäkit (2.5.4, s.11)	Saatavilla tutkimukseen valmiiksi sovellettavaa LCA-dataa
Antifouling-materiaali (2.5.2, s. 7)	Kuparidioksidikuormitus vesistöön

Taulukko 14. Rajausten ulkopuolelle jätetyt osaprosessit

Osaprosessi	Ulkopuolelle jätöperuste
Hiiidioksidi tainnutuksessa (2.5.3, s. 9)	Muun teollisuuden sivutuote Kuljetettavat määrät noin promille esim. itse kalan kuljettamisesta. Matka kuitenkin suunnilleen sama, joten kuljetuksista aiheutuvat päästöt vähäiset.
Antifouling-materiaalin ja antibioottien valmistus (2.5.2, s. 7-8)	Ei saatavissa tietoa Määrät suhteellisen pieniä verrattuna muihin syötteisiin, kuten esim. rehunvalmistukseen. Valmistusprosessin olisi kulutettava todella runsaasti energiaa tai sen tulisi aiheuttaa erittäin suuria ympäristöhaittoja suhteessa tuotantoon ollakseen merkittävä
Antifouling-materiaalin ja antibioottien kuljetukset (2.5.2, s.7)	Kuljetettavat määrät vähäiset
Jalostus, kauppa, kulutus	Resurssipula.
Raakaveden puhdistusprosessi (4.4, s.32)	Käytetyt raakavesimäärät vähäiset Raakaveden puhdistamisen ympäristökuormitukset pienet.
Poikaskasvatus (2.5.2, s.6)	Aiheuttaa vain murto-osan verrattuna jatkokasvatuksen ympäristökuormitukseen

Tarkemmat kuvaukset tässä kohdassa rajatuille osaprosessille on esitetty kohdassa 2.5 sekä raportissa Kalankasvatuksen Prosessikuvaus (Silvenius 2000).

Kiitokset

Tämän esiselvitysraportin kirjoittamisessa tarjosivat apuaan useat kalankasvatuksen ja siihen liittyviin tuotantoprosesseihin liittyvät henkilöt. Erityisesti kiitokset ansaitsee hankkeen esiselvitysosan vastuuhenkilö, erikoistutkija Timo Mäkinen, joka auttoi runsaasti tarvittavan kirjallisuuden hankkimisessa ja luki useaan kertaan aikaansaamani materiaalin läpi tehden siihen lukuisia parannusehdotuksia. Erityiskiitokset myös koko hankkeen vastuuhenkilölle, TkL Jyri Seppälälle, joka auttoi kerätyn materiaalin jäsentelyssä raportin muotoon. Alkusanoissa mainitut ohjaus- ja tutkimusryhmän jäsenet lukivat kaikki tämän raportin ja esittivät siihen omat parannusehdotuksensa.

Poikaskasvatukseen sekä lisäksi muihin kalankasvatukseen liittyviin asioihin sain runsaasti tietoa biologi Yrjö Lankiselta Savon Taimen Oy:stä. Hän luki myös tämän teoksen muutamaan kertaan läpi. Arvokkaita kommentteja tekstin sisältöön antoi myös Jouni Vielma Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitokselta. Kalan rehuun ja ruokkimiseen liittyviin kysymyksiin esitti useita kommentteja myyntiedustaja Erik Norrgård Rehuraisio Oy:stä.

Kalankasvatukseen liittyvistä seikat ovat tässä raportissa pääosin peräisin kalankasvatuksen prosessikuvaus-raportista, jonka osittaisena tiedonlähteenä oli pienimuotoinen haastattelututkimus. Erityiskiitos myös tähän kyselyyn vastanneille, heitä ovat Markku Suominen Lännen puolen lohesta, Harri Sjöblom Ålands Fiskförädlingsistä, Christer Eriksson Flisö Fiskodlingista, Olof Öström Brändö Lax Ab:stä, Pelle Husell Ålands Forell Ab:stä. Olof Karlsson Ålands Fiskodlarföreningenistä auttoi vierailujen järjestämisessä kasvattamoille ja kokosi myös niiltä materiaalia.

Myös rehuista, rehujen raaka-aineista ym. kalatalouteen liittyvistä materiaaliavirroista hankittiin tietoja haastattelututkimuksella. Heille myös kiitokset. Rehuraisiolta rehunvalmistusta ja soijan prosessointia koskeviin kysymyksiin vastasivat useat yrityksen työntekijät, pääasiassa Erik Norrgård, Risto Mattila ja Terhi Sinisalo. Suomen Rehu Oy:stä vastaukset haastattelututkimukseen kokosi Risto Nappa ja BioMar A/S:ltä Peter Bell Jessen. Anti-fouling-materiaalia koskeviin kysymyksiin vastasi Katri Erkkilä MobilOil Oystä. Kalajauhoa ja -öljyä koskevia tietoja antoivat Antti Rintaharri Berner Oy:stä ja Lasse Kärnä Norsset Oy:stä. Tiedot rehusäkkien valmistuksesta lähetti Seppo Sipilä UPM-Rosenlew Oy:stä ja styrox-laatikoiden valmistuksesta Ari Sivula Peterson Walki Oystä. Vehnäjauhoa käsittelevän LCA:n antoi tutkimuksen käyttöön Juha Grönroos Suomen ympäristökeskuksesta ja lannoitteiden ja muurahaishapon ekotasetietoja antoi Anna Ilomäki Kemira Engineering Oy:stä. Tutkimuksessa kartoitettiin myös haitallisten aineiden pitoisuutta kalatuotteissa. Materiaalin hankkimisessa avustivat Pekka Vuorinen Riista ja kalatalouden tutkimuslaitokselta sekä Anja Hallikainen Eläinlääkintä- ja elintarvikevirasto EELA:sta.

Lähdeluettelo

- Aalvik, B. 1999. Key figure from Norwegian aquaculture industry. Directorate of fisheries. Department of Aquaculture.
- Aarnipuro, Y. 1992. Kalanviljelylaitosten poistovesien käsittelyn mahdollisuudet. Pur-siainen M. ja Rahkonen R. Kalanviljely, vesiensuojelu ja valvonta. Kalanviljelyn XIV neuvottelupäivät. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 56. Yli-opistopaino Helsinki 1992. s.98-107.
- Ackefors, H. & Enell, M. 1994. The release of nutrients and organic matter from aquaculture systems in Nordic countries. *J. Appl. ichthyol.* 10 (1994), 225-241.
- Ackefors H., & Olbrus, C. 1996. Swedish Aquaculture Policy - a nightmare for the industry. *Aquaculture Europe. Magazine of the European Aquaculture Society.* Volume 21(2) December 1996. Department of Zoology, Stockholm University. s.-106 91 Stockholm, Sweden, s. 6-13.
- Ammattikalastus merialueilla 1998. Riistan- ja kalantutkimus. SVT Maa-, metsä ja ka-latalous. Ympäristö 1999:4.
- Ammattikalastus sisävesialueilla 1998. Riistan- ja kalantutkimus. SVT Maa-, metsä ja kalatalous. Ympäristö 1999:13.
- Andersson, K. & Ohlsson, T. 1995. Life Cycle Assessment of Bread Produced on Dif-ferent Scales. LCA Case Studies. SIK, the Swedish Institute of food and Biotechnol-ogy, Göteborg, Sweden, 1995.
- Aquasmart 1999. <http://www.aquasmart.com.au/jan99ffi.html> 3.12.1999.
- Aquasmart 1999. <http://www.aquasmart.com.au/aug99.html> 3.12.1999.
- Austreng, E. & Meland, K. T. 1977. Virkning av tørrfor med ulikt proteinnivå på smak og kjemisk sammensetning av regnbueaure. *Husdyrforsøksmøtet 1977. Aktuelt fra landbruksdepartementets opplysningsstjeneste (2): 381-386.* /ref. Braaten, B.1992.
- Braaten, B. 1992. Impact of pollution from aquaculture in six Nordic countries. Re-lease of nutrients, effects and waste water treatment. *Aquaculture and the Environ-ment.* EAS special publications No 6. Gent, Belgium, pp. 79-101.
- Cederberg, C. 1998. Life cycle Assessment of Milk Production - A Comparison of Conventional and Organic Farming. SIK-report nr 643. The Swedish Institute for Food and Biotechnology. Göteborg. Sweden.
- Ceuterick, D. 1998. Life-cycle Assessment, Backgrounds and Application. Interna-tional Conference on Life Cycle Assessment in Agriculture, Agro-Industry and For-estry, 3-4 December 1998, Bryssel, Belgia.
- Christersen P. & Ritter E. 2000. Life cycle screening of pickled herrings in jars. 15 s.
- Colby, P.J., Spangler, G.R., Hurley, D. A. & McCombie, A. M. 1972. Effects of eu-trophication on salmonid communities in oligotrophic lakes. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 29:975-983/ref. Tammi, J. 1996.
- Direktoratet for Naturforvaltning 1999. Environmental objectives for Norwegian aqua-culture. New objectives for 1998-2000. DN-rapport 1999-1b.
- EELA 1996. Eläimistä saatavien elintarvikkeiden vierasainetutkimukset 1996. Eläin-lääkintä- ja elintarvikelaitos (EELA). Helsinki 1996.
- Ekholm, P. 1999. Uusi rehu vähentää fosforikuormituksen käyttökelpoisuutta leville. *Suomen kalankasvattaja 2/1999*, s. 44.

- Elintarvikevirasto, 1992 kirjolohi ravintona. Aistittava laatu, mikrobiologiset tekijät, ravintoarvo ja vieraat aineet. Elintarvikeviraston julkaisuja 13/1992. Helsinki.
- Elintarvikevirasto, 1999. Suullinen tiedonanto.
- Elintarvikkeiden koostumustietopankki 2000. [Http://www.ktl.fi/finel/](http://www.ktl.fi/finel/) 21.2.2000.
- Eriksson, C. 1999. Flisö Fisk och Rönns Fisk. Kirjallinen tiedonanto 7.8.1999.
- Erkamo, E. 1992. Viljelyvälineiden desinfiointi ja sen merkitys kalatautien torjunnassa kalanviljelylaitoksilla. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 42. Valtion kalanviljelyn XI neuvottelupäivät. Toim. Lavikainen R. & Rahkonen R. Yliopistopaino Helsinki 1992 s.21-28.
- Erkkilä, 1999a. Rehuraisio Oy. Suullinen tiedonanto 17.8.1999.
- Erkkilä, K. 1999b. Mobiloil Oy. Kirjallinen tiedonanto 28.9.1999.
- FAO 1986 The production of fish meal and oil. FAO fisheries technical paper 142, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome 1986.
- Forster J., 1999. Aquaculture chickens, salmon - a case study. World Aquaculture. September 1999, s. 33-40, 69-70.
- Gjedrem T., 1986. Avlsarbeidet. P. 200-226. I:Gjedrem, T. (ed). Fisleoppdrett med framtid. Landbruksforlaget, Oslo. 328 p./ref. Braaten, B. 1992.
- Grönroos, J. 1999. Vehnäjauhon elinkaari-inventaario. Henkilökohtainen tiedonanto. Suomen ympäristökeskus.
- Haahti H. 1991. Concentrations of harmful substances in fish in the northern Baltic. Memoranda Soc. Fauna Flora Fennica 1991:67:15-20/ref. Mustaniemi, A. *et al.*, 1994
- Hakala, J., Hynninen, P., Kaukoranta, E., Selänne, A. & Vuoristo, H. 1994. Velvoite-tarkkailun yleisohjeen täydennys: kalankasvatuksen velvoitetarkkailu. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 586. Helsinki 1994.
- Hakulin, K. 1992. Kalojen siirtorajoitusten vaikutus luonnonravintoviljelyyn. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 59. Valtion kalanviljelyn XVI neuvottelupäivät 1.-2.4.1992, Kuopio. Toim. Lavikainen R. & Rahkonen R. Yliopistopaino Helsinki 1993.s. 31-37.
- Hallikainen, A., Mustaniemi A. & Vartiainen T. 1995. Dioksiinien saanti ravinnosta. Elintarvikevirasto, tutkimuksia 1/1995. Helsinki, 17 s + liitteet.
- Hallikainen, A. 2000. Polykloorattujen dioksiinien (PCDD) ja furanien (PDF) määrittäminen kudoksenäytteestä. Tutkimustuloksia, analyysit 21.7.-8.9.1999 Elintarvikevirasto. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Hartmann, J. & Nümann, W., 1977. Percids of lake Constance, a lake undergoing eutrophication. J. Fish. Res. Bd. Can. 34:1670-1677./ref, Tammi J. 1996.
- Heinimaa, P. 1992. Kokemukset kalatautien aiheuttamista ongelmista Pohjois-Suomen keskuskalanviljelylaitoksessa. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 42. Valtion kalanviljelyn XI neuvottelupäivät. Toim. Lavikainen R. & Rahkonen R. Yliopistopaino Helsinki 1992 s.14-20.
- HELCOM 1999. Internet-sivu <http://www.helcom.fi/fullrecs/rec18-3.html> 25.8.1999.
- Helminen H. 2000. Skagsund Ab:n umpikassiprojekti: vuoden 1999 kuormitustulokset. Välikatsaus 27.1.2000. Lounais-Suomen ympäristökeskus.
- Helsingin Vesi Oy, 1999. Ympäristöraportti 1998.
- Henriksson S.-H. 1991. Effects of Fish Farming on Natural Baltic Fish Communities. Marine Aquaculture and Environment (ed. T. Mäkinen). Nord 1991:22, s.85-104.

- Hepher, B. 1988. Nutrition of Pond Fishes. Cambridge University Press, Cambridge, 388 pp./ ref. Mäkinen, T. 1991.
- Honkanen, A. 1999. Suullinen tiedonanto 8.7.1999.
- Honkanen, A. & Setälä, J. 1997. Kalan käyttö suur- ja kotitalouksissa. Kalavirrat - tietoa kalan tarjonnasta ja käytöstä. Riistan ja kalantutkimus. Ympäristö 1997:13, s.40-47.
- Husell, P.-A. 1999 Ålands Forell AB. Kirjallinen tiedonanto 7.8.1999.
- Håkansson, L. 1995. Fiskodling och miljöeffekter I sköar - nya resultat motiverar nya bedömningsunderlag. Särtryck ur VATTEN 51:2,3,4:1995.
- Hänninen, J. 1996. Keinotekkoisten riuttojen käyttö kalanviljelylaitosten ravinnepäästöjen vähentämisessä. Esiselvitys. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen monistesarja nro 10/96.
- Ilomäki, A. 1999. Lannoitteiden valmistamisen elinkaari-inventaariotiedot. Referenssivuosi: lannoitetehtas 1998; rikkihappo, biotiitti, apatiitti ja fosforihappo 1996; muut raaka-aineet 1998. Henkilökohtainen tiedonanto. Kemira Engineering Oy.
- ISO 1997. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. SFS-EN ISO 14040. Vahvistettu 22.9.1997. Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Helsinki.
- Janatuinen, K. 1992. Alustavia tuloksia valtion luonnonravintolammikoiden keskimääräisestä tuotannosta, rakentamis- ja kunnossapitokustannuksista sekä luonnonravintoviljelyllä tuotettujen kalanpoikasten pääomakustannuksista. Valtion Kalanviljelyn XVI neuvottelupäivät 1.-2.4.1992, Kuopio. Luonnonravintolammikkoviljely, uudet lajit ja rodunjalostus. Toim. Lavikainen, R. & Rahkonen, R. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia 59. Helsinki 1993.
- Jessen, P. B. 1999. BioMar Oy. Kirjallinen tiedonanto 13.12.1999.
- Johanisson, V. & Ohlsson, P. 1998. Miljöanalys ur livscykelperspektiv av fläskkött och vitt bröd. Förstudie. SIK-Rapport Nr 640 1998.
- Jokela, P. 1999. Umpiallastekniikka ja flotaatio kalankasvatuksessa käytettäessä suurennettua kalatiheyttä. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Vesi- ja ympäristötekniikan laitos. Tampere 1999.
- Juvankoski, N., Setälä, J., Honkanen, A., Saarni, K. & Mickwitz, P. 1998. Tukku- ja vähittäiskaupan näkemys kirjolohifileen kokonaislaadusta. Riista- ja Kalantutkimus, kalatutkimuksia 148. Helsinki 1998.
- Kalan ulkomaankauppa 1998. Riistan ja kalantutkimus 1999:3.
- Kalanviljely 1994. Riistan- ja kalantutkimus, Ympäristö 1995:8.
- Kalanviljely 1995. Riistan- ja kalantutkimus, Ympäristö 1996:7.
- Kalanviljely 1996. Riistan- ja kalantutkimus, Ympäristö 1997:9.
- Kalanviljely 1997. Riistan- ja kalantutkimus, Ympäristö 1998:11.
- Kalanviljely 1998. Riistan- ja kalantutkimus, Ympäristö 1999:2.
- Kananen, P. & Väyrynen, T. 1989. Kalankasvatuksen vesiensuojeluongelmia selvitetty Mikkelin läänissä. Suomen Kalankasvattaja 3/1989: 35.37/ref. Salo, H. & Sundell, P. 1996.
- Kehitysaluerahasto Oy, 1987. Kalanviljelyn verkkoallaskasvatuksen vesistökuormituksen vähentäminen. Tutkimus A 7:1987.73 s.
- Kiesvaara M., Heiniö R.-L., Mustaranta A., Hattula T., Vartiainen T. & Hallikainen A. 1992. Silakka ravintona. Elintarvikeviraston julkaisu 11/1992. Helsinki.

- Kirkkala, T. 1998. Kalankasvatuksen ja muiden kuormittajien vaikutus vesistön tilaan - esimerkkinä Saaristomeri. Kalanviljelyn Ympäristöpäivä 20.11.1998. Lounais-Suomen Ympäristökeskus & Kalankasvattajaliitto. Hotelli Pasila, Helsinki.
- Koivisto, V. M. & Blomqvist, E. M. 1988. Does fish farming affect natural Baltic fish communities? *Kieler Meeresforsch., Sonderh.* 6:301-311/ref. Henriksson, S.-H. 1991
- Koskela, J. 1992. Uudesta lajista vanha viljelylaji. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia n:o 59. Valtion kalanviljelyn XVI neuvottelupäivät 1.-2.4.1992, Kuopio. Toim. Lavikainen R. & Rahkonen R. Yliopistopaino Helsinki 1993. s. 38-43.
- Koskela, J., Setälä, J. & Honkanen, A. 1998. Viljelyn monipuolistaminen uusien lajien avulla. Lajien taloudelliset ja tekniset mahdollisuudet ruokaviljelyyn. Kala ja riistaraportteja nro 111. Helsinki 1998.
- Koskela, J., Vielma, J. & Norrdahl, O. 1999. Soijatiiviste rehussa antoi soija rouhetta parempia tuloksia. Suomen kalankasvattaja 2/1999, s. 45-46.
- Kärnä, L. 1999. Norset. Kirjallinen tiedonanto 2.7.1999.
- Kärnä, L. 1999. Norset. Suullinen tiedonanto 12.7.1999.
- Lankinen, Y. 1999. Savon Taimen Oy. Suullinen tiedonanto 10.8.1999.
- Larsson, B. 1983. Produktion av stor regnbåglax för konsumtion. Inst. For husdjursföreling, Sveriges Landbruksuniversitet, Uppsala, Rapport 58, 33 p./ref. Braaten, B. 1992.
- Leach, J. H., Johnson, M. G., Kelso, J. R. M., Hartmann, J., Nümann, W. & Entz, B. 1977. Responses of percid fishes and their habitats to eutrophication. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 34: 1964-71./ref. Tammi, J. 1996.
- Leminen, E., Mäkinen, T. & Junna, J. 1986. Kalanviljelyn vesistökuormituksen vähentäminen verkkokassilaitoksella - kenttätutkimus meriolosuhteissa. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 6. Helsinki 1986.
- Leopold, M., Brinska, M. & Nowak, W. 1986. Commercial fish catches as an index of lake eutrophication. *Archiv für Hydrobiologie* 106:513-524./ref. Tammi, J. 1996.
- Lindeijer, E. & Meeusen, M. J. G. 1998 A data conversion tool for environmental life cycle assessments for food, International Conference on Life Cycle Assessment in Agriculture, Agro-Industry and Forestry, 3-4 December 1998, Bryssel, Belgia, Platform presentations s. 149-160.
- Lillsunde, I. 1999. Varsinais-Suomen TE-keskus. Kirjallinen tiedonanto 2.9.1999.
- Litlehammar, L. 1990. Dift og økonomi. Lukkede produksjonsanlegg for laksefisk (lohikalojen maallerakennettu, pumpattua merivettä käyttävä tuotantolaitos) Seminaari Norjan Bergenissä 30.10.-3.11. 1990. Määttä, V. Pohjois-Suomen keskuskalanviljelylaitos. Taivalkoski 14.11.1991.
- Liukkonen, M. 1992. Yksityisen kalanviljelyn toiveita rodunjalostukselta. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 59. Valtion kalanviljelyn XVI neuvottelupäivät 1.-2.4.1992, Kuopio. Toim. Lavikainen, R. & Rahkonen, R. Yliopistopaino Helsinki 1993. s. 93-98.
- Makkonen, J. & Pursiainen, M. 1997. Waste phosphorus and solids flow in aquaculture system - a practical study. Jarmo Makkonen (ed.) Technical solutions in the management of Environmental Effects of Aquaculture. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kala- ja riistaraportteja nro 95. Helsinki 1997. s. 8-19.
- Mattila, R. 1999. Rehuraisio Oy. Suullinen tiedonanto 6.7.1999.
- Midlen, A. & Redding, T. A. 1998. Environmental Management for Aquaculture. Chapman & Hall Aquaculture Series 2. London., 1998.

- Miettinen, L. 1993. Kalankasvatuksen kuormituksen vähentäminen puhdistuslaitteiden ja sijainninhajauksen avulla. Suomen kalankasvattaja 4/1993, s. 21-22/ref. Salo, H. & Sundell, P. 1996.
- Mustajärvi, V. 1999. Kalanviljelytekniikka. Riista- ja kalaraportteja nro 160. Riista- ja kalatalouden Tutkimuslaitos. Helsinki 1999.
- Mustaniemi A., Hallikainen A. & Männistö S. 1994. Elintarvikkeiden lyijypitoisuudet ja lyijyn saanti ravinnosta. Elintarvikevirasto, tutkimuksia 1/1994. Helsinki.
- Mustaniemi, A., Hietaniemi, V., Hallikainen, A. & Kumpulainen, J. 1995. Elintarvikeviraston julkaisuja 1/1995. Helsinki, s.16.
- Mustonen, R. 1992. Kirjolohi ravintona. Tuotantohygienia. Elintarvikeviraston julkaisuja 12/1992. Helsinki.
- Mäkinen, T. 1983. Kalanviljelyn vesistökuormituksen vähentäminen. Kalanviljelylaitosten tekninen suunnittelu ja rakentaminen. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus INSKO 187-83. Insinööritieto Oy 1983.
- Mäkinen, T. 1984. Porraskosken kalanviljelylaitoksen pyörreselkeyttimen toiminnan tutkimus.- Käsikirjoitus. /ref. Mäkinen, T. 1983.
- Mäkinen, T. 1999. Suullinen tiedonanto VI 1999.
- Mäkinen, T. 1992. Malli kalanviljelyn kuormitusten vaikutusten arvioimiseksi merialueella. Vesitalous 33(2): s. 36-38.
- Mäkinen, T. & Ruohonen, K. 1992. Rehun ja ruokinnan optimointi. Pursiainen, M. & Rahkonen, R. Kalanviljely, vesiensuojelu ja valvonta. Kalanviljelyn XIV neuvottelupäivät. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 56. Yliopistopaino Helsinki 1992, s. 84-97.
- Määttä, V. 1998. RKTL:n kokemuksia siiasta viljelylajina. RKTL:n vesiviljelypäivät 1998. Vesiviljelytuotannon uudet lajit ja kannat. RKTL:n viljelykokemuksia ja kehitystuloksia. Toim. Eskelinen, U. & Rissanen, I. Kala- ja riistaraportteja nro 115. Helsinki 1998. s. 20-24.
- Nappa, R. 1999. Suomen Rehu Oy. Kirjallinen tiedonanto 10.12.1999.
- Niinimäki J., Korhonen K., Ihalainen E. & Junna J. 1991. Tutkimus kirjolohirehun kuormitusvaikutuksista umpiiallaskasvatuksessa Kustavissa 1990. Vesi ja ympäristöhallituksen monistesarja. Helsinki 24.6.1991.
- Norrgård, E. 1999a. Rehuraisio Oy. Suullinen tiedonanto 6.7.1999.
- Norrgård, E. 1999b Rehuraisio Oy. Kirjallinen tiedonanto 31.8.1999.
- Norrgård, E. 1999c Rehuraisio Oy. Suullinen tiedonanto 4.11.1999.
- Nykänen, S. 1998. Kirjolohen tuotannon markkinatilanne Suomessa vuosina 1994-98. Suomen kalankasvattajaliitto ry, Tuottajakokous 25.3.1998.
- Nykänen, S. 2000. Kirjallinen tiedonanto 10.1.2000.
- Nykänen S. & Karlsson O. 2000. Poikaskyselyn tulokset. Suomen Kalankasvattajaliitto ry. Tuottajakokousohjelma 30.3. 2000.
- Nylander, E. & Savolainen, R. 1997. Kalan käyttö muuksi kuin ihmisravinnoksi. Kalavirrat - tietoa kalan tarjonnasta ja käytöstä. Riistan ja kalantutkimus. Ympäristö 1997:13 s.48-55.
- Nümann, W. 1972. The Bodensee: effects of exploitation and eutrophication on the salmonid community. J. Fish. Res. Board Can. 29:833-847/Tammi J. 1986.
- Oil World no 23, vol 40, Oct/Aug, 96/97. /ref. Cederberg, C. 1998.
- Orakoski, H. 1999. Oriola Oy. Suullinen tiedonanto 23.8.1999.

- Paavo Ristola Oy 1998. Ravinnekuormituksen vähentäminen kalojen verkkoallaskasvatuksessa. MMM 12189.
- Pakarinen, T., Jokikokko, E., Romakkaniemi, A., Länsman, M., Niemelä, E. & Ikonen, E. 1997. Itämeren lohi. Riistan- ja kalantutkimus, Ympäristö 1997:11. Kalavarat s. 14-19.
- Pakarinen, T., Jokikokko, E., Romakkaniemi, A. & Ikonen, E. Lohi. 1998. Riistan- ja kalantutkimus, Ympäristö 1998:13. Kalavarat s. 40-49.
- Parmanne, R. 1996. Rehukalastuksen vaikutus silakkakantoihin. Riista- ja Kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia 115. Helsinki 1996.
- Parviainen, T. 1999. Suullinen tiedonanto 1999/ref. Remes, M. 1999.
- Persson, G. 1988. Relationship between feed, productivity and pollution in the farming of large rainbow trout (*Salmo gairdneri*). SNV, Stockholm, Report no. 3534, 48 p. Wallin M. & Håkansson I. Nutrient Loading Models for Estimating Environmental Effects of Marine Fish Farms. Marine Aquaculture and Environment. Toim. Mäkinen, T. Nord 1991:22. Nordic council of Ministers, Copenhagen 1991, s. 39-55.
- Persson, L., Diehl, S., Johansson, L., Andersson, G. & Hamrin, S.F. 1991. Shifts in fish communities along the productivity gradient of temperate lakes - patterns and the importance of size-structured interactions. J. Fish. Biol. 38:281-293/ref. Tammi, J. 1996.
- Pulliaainen, M. 1996. Diplomityö. Maitotuotteiden elinkaaren ympäristökuormitukset. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Energiatekniikan osasto.
- Pursiainen, M. 1992. Kalojen rodunjalostustoiminnan käynnistyminen. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 59. Valtion kalanviljelyn XVI neuvottelupäivät 1.-2.4.1992, Kuopio. Toim. Lavikainen R. & Rahkonen R. Yliopistopaino Helsinki 1993. s. 78-80.
- Pölönen, I. 1999. Turkistuottajien keskusliitto. Suullinen tiedonanto 15.9.1999.
- Pönni, J. 1998. Silakka. Riistan- ja kalantutkimus, Ympäristö 1998:13. Kalavarat s. 2-6.
- Pönni, J. 2000. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Suullinen tiedonanto 22.2.2000.
- Rankanen, R. 1999. Kasvintuotannon Tarkastuskeskus, Maatalouskemian osasto, Kirjallinen tiedonanto 29.7.1999.
- Ranne, A. 1995. Elintarvikkeiden elinkaari ja energiakertymät. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT Energia. Helsinki 1995.
- Ranta-aho, K. 1999. Varsinais-Suomen TE-keskus. Suullinen tiedonanto 1.9.1999.
- Rastas, M., Seppänen, R., Knuts, L.-R. & Hakala, P. 1996. Missä on eniten? Ravintoaineiden parhaat lähteet. Kansaneläkelaitos, Tutkimus- ja kehitysyksikkö. Turku 80s./ref. Juvankoski, N., *et al.* 1998.
- Reinertsen, H. & Haaland, H. 1995. Sustainable Fish Farming. Proceedings of the First International Symposium on Sustainable Fish Farming. Oslo, Norway. August 28-31 1994. Publ. A.A. Balkema, Rotterdam/ref. Forster, J. 1999.
- Remes, M. 1999. Lääkerehujen käyttö vähentynyt selvästi. Suomen kalankasvattaja 28(1999) 5:10-11.
- Reusser, L. 1994. Ökobilanz des Soyaöls. EMPA. Institut de Genie de l'environnement, École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Lausanne. /ref. Cederberg, C. 1998.
- Rimaila-Pärnänen, E. 1999. Elintarvikevirasto, Eläinlääkintä- ja elintarvikelaitos EELA, Suullinen tiedonanto 20.8.1999.
- Rintaharri, A. 1999. Berner Oy. Kirjallinen tiedonanto 2.7.1999.

- Rintaharri, A. 1999. Berner Oy. Suullinen tiedonanto 14.7.1999.
- Rissanen, I. 1990. Tuloksia uusien lajien viljelystä. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia n:o 59. Valtion kalanviljelyn XVI neuvottelupäivät 1.-2.4.1992, Kuopio. Toim. Lavikainen, R. & Rahkonen, R. Yliopistopaino Helsinki 1993. s. 44-53.
- Rossi, K. 2000. Kalankasvattajaliitto ry. Suullinen tiedonanto 10.8.2000.
- Runeberg, J. 1992. Behandling av spillvattnet på östra Finlands centralfiskodlongsanstalt. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 53. Helsinki 1992.
- Ruohonen, K. & Vielma, J. 1994. Kalojen pehmeäraehut, suunnittelu ja käyttö. Riista- ja kalatalouden Tutkimuslaitos 1994.
- Ruohonen K. & Vielma J. 1998. Kalojen ravitsemustutkimus tukee kalanviljelyn ympäristökuormituksen alentamista. *Vesitalous* 39(1998)5:27-30.
- Räisänen, T. 1999. AGA Oy. Suullinen tiedonanto 13.9.1999.
- Salo, H. & Sundell, P. 1996. Kalanviljelyn vesistövaikutukset ja niiden vähentäminen. Kirjallisuusselvitys. Suomen kalankasvattajaliitto. Keuruuprint 1996.
- Sandnes, K. & Ervik, A. 1999. Industrial marine fish farming. In Svennevik, N., Reinertsen, H. & New, M. (Eds.) Sustainable Aquaculture. Food for the future? A. A. Balkema/ Rotterdam/Brookfield /1999. s. 97-108.
- Savolainen, R., Ahvonen, A. & Moilanen, P. 1998. Kalanviljelyn tuotantotilasto. Julkaisussa Kalankasvatuksen ympäristökuormitustavoitteet ja oikeudellinen ohjaus Saaristomerellä ja Ahvenanmaalla. Suomen ympäristökeskuksen moniste 133. Toim. Mäkinen T. s. 7-9.
- Saynor, R. & Ryan, F. 1991. The Eskimo Diet: How To Avoid A Heart Attack. Ebury press. 192 p./ref. Juvankoski, N. *et al.* 1998.
- Selänne, A., Mäkinen, T. & Helkiö, R. 1983. Kalankasvatusliete ja sen jatkokäsittely. - Vesihallituksen monistesarja 1983:173./ ref. Mäkinen, T. 1992.
- Selänne, A. & Lindgren, S. 1984. Kalankasvatusaltaiden lietteenpoisto alipainejärjestelmällä. Vesihallituksen monistesarja 1984:223. Jyväskylä. 25 s./ref. Leminen, E., *et al.* 1986.
- SFT 1998. Environmentally Sound Aquaculture. Final report. Statens forurensningstilsyn. December 1998.
- Sillman-Valle, S. 1999. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Tervon tutkimusasema. Suullinen tiedonanto 11.8.1999.
- Silvenius, F. 2000. Kalankasvatuksen prosessikuvaus. Riista- ja kalaraportteja nro Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.
- Silvo, K. 1999. Suomen ympäristökeskus. Kirjallinen tiedonanto 10.11.1999.
- Sinisalo, 1999. Rehuraisio Oy. Suullinen tiedonanto 17.8.1999.
- Sipilä, S. UPM-Rosenlew Oy. Kirjallinen tiedonanto 13.10.1999.
- Sivula, A. 1999. Peterson Walki Oy Kirjallinen tiedonanto 23.9.1999.
- Sjöblom, H. 1999. Ålands Fiskförädling. Kirjallinen tiedonanto 7.8.1999.
- Sokka, T. 1986. Kalan verkkoallaskasvatuksen vesistökuormituksen vähentäminen. Diplomityö. Tampereen TKK/ref. Niinimäki, J. *et al.* 1991.
- Stigebrandt, A. 1986. Modellberäkningar av en fiskodlings miljöbelastning. Norsk institut for vannforskning NIVA O-86004. Göteborg 14.2.1986.
- Suominen, M. 1999. Lännen Puolen Lohi. Suullinen tiedonanto 28.7.1999.

- Söderkultalahti, P., Tuunainen, A.-L., Leinonen, K., Savolainen, R. & Vihervuori, A. 1997. Kalan kokonaistarjonta. Kalavirrat - tietoa kalan tarjonnasta ja käytöstä. Riistan ja kalantutkimus. Ympäristö 1997:13 s.48-55.
- Svärdson, G. & Molin, G. 1981. The impact of eutrophication and climate on a warmwater fish community. Rep. Inst. Freshw. Res., Drottningholm 59: 142-151 /ref. Tammi, J. 1996.
- Tahvonen R. & Kumpulainen J. 1991. Lead and cadmium contents in pork, beef and chicken, and in pig and cow liver in Finland during 1991. Food additives and Contaminants/ref. Mustaniemi, A. *et al.*, 1991.
- Tammi, J. 1996. Rehevöitymisen vaikutukset kaloihin, kalakantoihin ja kalastukseen. Kirjallisuuskatsaus. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia 103. Helsinki 1996.
- Tamminen, T. 1983. Ammoniumtyppikuormituksen vaikutus murtoveden planktiseen perustuotantoon ja hajotustoimintaan. - Vesihallitus, tiedotus 230, p4 s./ ref. Mäkinen, T. 1983.
- Tavenius, T. 1999. Rehuraisio Oy. Suullinen tiedonanto 17.8.1999.
- Tiainen, V.-M., Nurmi, K. & Wideskog, M. 1996. Kalankasvatuksen ympäristöohjelma 1996-2005. Saaristomeri, Selkämeren rannikko ja Ahvenanmaa. Suomen ympäristökeskuksen moniste nro 14. 1996.
- Tvinnereim, K. 1990. Anleggbeskrivelse norske anlegg på land og i sjo. Lukkede prodksjonsanlegg for laksefisk (lohikalojen maallerakennettu, pumpattua merivettä käyttävä tuotantolaitos) Seminaari Norjan Bergenissä 30.10.-3.11. 1990. Määttä, V. Pohjois-Suomen keskuskalanviljelylaitos. Taivalkoski 14.11.1991.
- Vartiainen, A. & Hallikainen A. Polyklooridibentso-P-dioksiinien (PCDD/F) sekä PCB:N kertyminen kirjoloheen käytettäessä silakkaa tai kuivarehua ravintona. Elintarvikevirasto, tutkimuksia 1/1995. Helsinki, 9 s + liitteet.
- Venäläinen, E., Kilpi M., Hirvi, T. & Hallikainen, A. 1999. Kemiallisten saastutuslähteiden vaikutus elintarvikevalvontaan: naudan ja sian kadmium- ja lyijypitoisuudet Suomessa alueellisesti. Elintarvikeviraston tutkimuksia 1/1999.
- Vertanen, S. 1993. Elinkaarianalyysi ja pakkaukset. Vesi- ja ympäristöhallitus. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja - sarja A, 154, 148 s.
- Vesi- ja ympäristöhallitus, 1988. Työryhmän selvitys. Kalankasvatus ja vesiensuojelu. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 1988:128. 172 s.
- Vielma, J. 1998. Ympäristörehujen kehittäminen. Kalanviljelyn Ympäristöpäivä 20.11.1998. Lounais-Suomen Ympäristökeskus & Kalankasvattajaliitto. Hotelli Pasila, Helsinki.
- Vielma, J., Mäkinen, T. & Koskela, J. 1999. Soijaproteiini kalanrehussa paransi kasvua ja vähensi kuormitusta. Suomen Kalankasvattaja 2/1999, s. 40-43.
- Vihervuori, A., Söderkultalahti, P. & Tuunainen, A.-L. 1997. Kalan kulutus. Kalavirrat - tietoa kalan tarjonnasta ja käytöstä. Riistan ja kalantutkimus. Ympäristö 1997:13 s.26-33.
- Vuorinen, P. J., Paasivirta, J., Vuorinen, M., Peuranen, S. ja Hoikka, J. 1993. Lohen ja meritaimenen ympäristömyrkkypitoisuudet ja lohen alkio- ja poikaskuolleisuus. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 65. Yliopistopaino Helsinki 1993. s. 59-73. /ref. Mustaniemi, A. *et al.* 1994.
- Wallin, M. & Håkansson, L. 1991. Nutrient Loading Models for Estimating Environmental Effects of Marine Fish Farms. Marine Aquaculture and Environment. Toim. Mäkinen T. Nord 1991:22. Nordic council of Ministers, Copenhagen, 1991, s. 39-55.

Wedekind, H., Schoppe, P. & Markl, H. Reduzierung der Umweltbelastung durch Fischzucht in Netzgehen. Fischer & Teichwirt 5/1999 s. 185-188.

Weidema, B., Pedersen, R. L., Drivsholm, T. S., Life Cycle Screening of Food Products - Two Examples and some Methodological Proposals. ATV project report Group of Cleaner Technology, I. Krüger Consult A/S, Lyngby, Denmark, January 1995.

Wennerström, P. 1999. Elintarvikevirasto, Eläinlääkintä- ja elintarvikelaitos EELA, Suullinen tiedonanto 26.7.1999.

Wideskog, M. 2000. Kalankasvatuksen kuormitustilastoinnin luotettavuus vuosina 1997-1998. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen moniste 3/2000. Turku 2000.

Wihlman, H. 1999. Antibiootit kalanviljelyssä. Kalankasvattaja 28(1999)5:37-40.

Ympäristöministeriö, 1998. Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005. Suomen ympäristö 226. Ympäristöministeriö. Ympäristönsuojeluosasto. Helsinki 1998. Öström, O. Brändö Lax. Suullinen tiedonanto 28.7.1999.

Öström, O. Brändö Lax. Suullinen tiedonanto 28.7.1999.

