

KALA- JA RIISTARAPORTTEJA nro 198

Frans Silvenius

Kalankasvatus ja ympäristö
Kalankasvatuksen prosessikuvaus

Helsinki 2000



RIISTAN- JA KALANTUTKIMUS

Julkaisija

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

KUVAILULEHTI

Julkaisu-aika

Marraskuu 2000

Tekijä(t)

Frans Silvenius

Julkaisun nimi

Kalankasvatus ja ympäristönsuojelu - Kalankasvatuksen prosessikuvaus

Julkaisun laji

Toimeksiantaja

Toimeksiantopäivämäärä

Tutkimusraportti

Projektin nimi ja numero

Saaristomeren kestävä kalankasvatus - Elinkaariarviointi (312087)

Tiivistelmä

Tämä julkaisu on osa kalankasvatuksen elinkaaritarkastelu-projektin esitutkimuksen vaihetta, jossa on tarkoituksena kuvata suomalaiseseen kalankasvatukseen liittyvä tuotantojärjestelmä kokonaisuudessaan elinkaariarvioinnin kannalta. Koottua aineistoa on tarkoitettu käyttämään pohjatietona kalankasvatuksen elinkaaritarkastelulle. Lisäksi julkaisu soveltuu mahdollisesti jossain määrin kalankasvatuksen käsikirjaksi, sillä siihen on koottu runsaasti kirjallisuudesta, mukaanlukien myös ns. harmaasta kirjallisuudesta, löytyvää tietoa suomalaisesta kalankasvatuksesta.

Itse kalankasvatusprosessin lisäksi julkaisussa on tietoa kalan kulutuksen jakaantumisesta Suomesta, tärkeimmistä kalatalouden vienti- ja tuontiartikkeleista, kalankasvatuksen aiheuttamista ympäristökuormituksesta ja niiden laskentamalleista, vesiensuojelun tavoitteista ja toteutuskeinoista sekä kalankasvatuksen ympäristökuormitusten kehitysnäkymistä.

Asiasanat

elinkaariarviointi, kalankasvatus, kirjolohi, LCA, prosessikuvaus, ympäristönsuojelu

Sarjan nimi ja numero

Kala- ja riistaraportteja 198

ISBN

951-776-291-7

ISSN

1238-3325

Sivumäärä

80 s.

Kieli

suomi

Hinta

Luottamuksellisuus

Julkinen

Jakelu

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 6
00721 Helsinki

Puh. 0205 7511 Fax 0205 751 201

Kustantaja

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 6
00721 Helsinki

Puh. 0205 7511 faksi 0205 751 201

Sisällys

1. JOHDANTO.....	1
2. KALANKASVATUSPROSESSI	2
2.1 Kalavirrat.....	2
2.1.1 Emokalat.....	2
2.1.2 Haudonta.....	2
2.1.3 Poikaskasvatus.....	3
2.1.4 Jatkokasvatus.....	5
2.1.5 Perkaus.....	8
2.1.6 Jatkojalostus.....	10
2.1.7 Kuljetukset.....	11
2.1.8 Pakkaukset.....	12
2.2 Rehuvirrat.....	13
2.2.1 Rehun tuotanto- ja myyntimäärät	13
2.2.2 Rehulajit.....	13
2.2.3 Rehujen ravinnepitoisuudet	14
2.2.4 Ruokinta ja sen optimointi.....	15
2.2.5 Rehujen raaka-aineiden valmistusprosessit ja kuljetukset.....	16
2.2.6 Valmistusprosessi	23
2.3 Lääkitys	24
2.3.1 Valmistusprosessi	26
2.3.2 Raaka-aineet	26
3. KULUTUKSEN JAKAANTUMINEN.....	27
3.1 Kalan kulutus Suomessa	27
3.2 Suurtalouskeittiöt.....	27
3.3 Vienti	28
3.4 Muu käyttö.....	28
3.5 Kala ihmisravintona.....	28
3.6 Kotimainen tuotanto	29
3.6.1 Virallinen tilasto	31
3.7 Tuonti	32
4. KUORMITUSTILANNE.....	34
4.1 Ravinnekuormitus.....	34
4.2 Kuormitustilastot	39
4.2.1 Ominaiskuorma.....	39
4.3 Mallit kalankasvatuksesta aiheutuvien kuormitusten laskemiseksi	40
4.4 Kalankasvatuksen ympäristövaikutukset.....	44
4.4.1 Ravinnekuormituksen vaikutukset.....	44
4.4.2 Vaikutukset kalastoon.....	45
4.4.3 Vaikutukset sedimenttiin	46
5. KEHITYSNÄKYMÄT	48
5.1 Rehujen kehitys	48
5.2 Muut parannuskeinot.....	49
6. VESIENSUOJELUN TAVOITTEET JA NIIDEN TOTEUTUSKEINOT	50
6.1 Alueellisia, valtakunnallisia ja kansainvälisiä tavoitteita	50
6.2 Tavoitteet laitosten sisäisille toimenpiteille kuormitusten vähentämiseksi	51
6.3 Tavoitteet laitosten ulkoisille toimenpiteille kuormitusten vähentämiseksi.....	51
6.3.1 Liete, sen keruu ja käsittely	51

6.3.2 Jäteveden käsittely	56
6.4 Valvonta	59
6.5 Oikeudelliset ohjauskeinot	60
7. TYÖLLISTÄVÄ JA TALOUDELLINEN MERKITYS	63
KIITOKSET	64
LÄHDELUETTELO	65

1. Johdanto

Tämä raportti on osa kalankasvatuksen elinkaaritarkastelu-projektin esiselvitystä, jossa on tarkoituksena käsitellä mahdollisimman tarkoin kaikki kalankasvatusprosessiin liittyvät ympäristöön vaikuttavat seikat. Tietoja on tarkoitus käyttää kyseisen elinkaaritarkastelun pohjana. Julkaisu on pääasiassa kirjallisuuskatsaus kalankasvatusta ja ympäristöä koskevasta kirjallisuudesta täydennettynä muutamaa kasvattamoaa koskevalla haastattelulla. Lisäksi mm. rehun ja sen raaka-aineiden ja muutamien kalankasvatuksessa käytettävien materiaalien ja pakkausten valmistustiedot ovat peräisin yritys-kohtaisista haastatteluista.

Julkaisu ei siis ole kaikkia kalankasvatukseen liittyviä toimintoja kuvaava käsikirja, vaan siinä on keskitytty nimenomaan erilaisiin ympäristötekijöihin, jotka aiheutuvat kalankasvatuksesta ja siihen liittyvistä sivuprosesseista. Julkaisussa on pyritty painottamaan vain sellaisia asioita, jotka ovat oleellisia Kalankasvatuksen elinkaaritarkastelu-tutkimusprojektin kannalta. Näin ollen moni kalankasvatukseen liittyvä ympäristöön vähän vaikuttava seikka on käsitelty pintapuolisesti. Julkaisun tiedot perustuvat kalankasvatusta koskevaan kirjallisuuteen, myös ns. 'harmaaseen kirjallisuuteen' sekä muutamien kasvattajien haastatteluun. Lisäksi mm. rehun ja sen raaka-aineiden ja muutamien kalankasvatuksessa käytettävien materiaalien ja pakkausten valmistustiedot ovat peräisin yritys-kohtaisista haastatteluista.

2. Kalankasvatusprosessi

2.1 Kalavirrat

2.1.1 Emokalot

Poikaskasvatuksen tuotantovaiheita ovat emokalojen valinta, kasvatus ja ylläpito, mädin haudonta sekä itse poikaskasvatus. Emokalanviljely pyritään mitoittamaan mahdollisimman tarkoin arvioidun mätitarpeen mukaisesti. Emokalanviljelyssä syntyy kuitenkin tuotantoylijäämää useista eri syistä. Emoparven uusiutumiskierron pituus vaihtelee laitoksittain. Joillakin laitoksilla mätiä otetaan yhdestä emoparvesta kerran, toisilla taas jopa kolmena vuonna. Emoijen ikä on näin ollen maksimissaan kuusi vuotta, jos oletetaan, että emo kutee 3-vuotiaana ensimmäisen kerran. Käytännössä emoparvien tappiot ovat lypsyjen jälkeen niin suuret, että emoista otetaan mätiä yleensä vain kaksi kertaa (Lankinen 1999). Emokalojen kasvatusveden lämpötila tulee olla 13-15°C. Koiraiden tarve emokaloissa on 25-30 % naaraiden määrästä (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988).

Emokalanviljelyn tekniikkaa suunniteltaessa on kiinnitetty erityisesti huomiota altaiden ja välineistön desinfiointiin. Nykyisin yleisessä käytössä olevia sora-, puu- ja betonialtaita ei kyetä desinfiomaan riittävän tehokkaasti (Pasanen ja Juntunen 1993). Vettä jäähdyttämällä kyetään kutuaikaa viivästäämään ja lämmittämällä aikaistamaan. Lisäksi kutuaikaan pystytään vaikuttamaan valaistusrytmiä muutamalla (Soivio 1993) tai hormoneilla. Lukuun ottamatta täysnaarasparvien muodostamista käännettyjen koiraiden avulla ei hormoneja Suomen kalanviljelyssä käytetä (Kaukoranta 1993).

2.1.2 Haudonta

Kirjolohinaaras tuottaa mätiä 800-1800 mätimunaa/kg kalaa (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Poikaset kuoriutuvat mätimunista keskimäärin 45 päivän haudonta-ajan jälkeen ja uivat ja syövät vapaasti 45 päivän jälkeen (Persson 1987). Mätimunista kuoriutuu 60-90 % (Lankinen 2000). Haudontaveden lämmittäminen nopeuttaa haudontaa: lämpötilassa +3°C haudonta-aika on 126,7 vrk, ja lämpötilassa +10°C 40 vrk (Mustajärvi 1999). Haudontalämpötilaksi sopii 5-15°C ja aikaistettujen poikasten tuotannossa käytetty lämpötila on 10-15°C käytettävissä olevasta laitteistosta riippuen (Lankinen 2000). Kuoriutumisen jälkeen lämpötilan tulisi tasaisesti nousta. Nopean kasvun optimilämpötila lohikaloilla on 14-18°C. Vuonna 1988 kirjolohen poikastuotannosta tuotettiin lämmitetyllä vedellä 50-60 % (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988) ja nykyisin noin 50 % kokonaisuudesta. Energiankulutus poikaskasvatuksessa 50 g:n kokoon saakka on noin 1 kWh/poikanen, mutta sitä on vaikea arvioida täsmällisesti. Poikaskalalaitosten lämmitysajat vaihtelevat suuresti, muutamasta viikosta pidempiin jaksoihin, mikä vaikeuttaa energiankulutuksen tarkkaa arviointia. Lämmitysten lisäksi energiaa kuluttavat poikaskalalaitoksilla pumput. Energiana käytetään sähköä ja öljyä. Altaaseen johdettavaa vettä voidaan tarvittaessa hapettaa (Lankinen 1999). Kirjolohi on suomalaisessa kasvatuksessa kevätkutuinen: Mädin haudonta alkaa huhtitoukokuussa ja poikaset kuoriutuvat touko-kesäkuussa (Mustajärvi 1999). Lämmitetyllä vedellä kasvatettujen poikasten tuotannossa mäti lypsetään tammi-maaliskuussa ja kuoriutuminen tapahtuu helmi-huhtikuussa. Myös useampien poikaserien tuottaminen kevään aikana on mahdollista (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988).

Mäti määritellään hyvälaatuiseksi, jos sen hedelmöityvyys on hyvä, kuolleisuus silmäpisteasteella, kuoriutumisessa ja startissa on pieni ja se tuottaa nopeakasvuisia tasakokoisia poikasia. Nykyisin jatkokasvatuslaitoksilla tarvitaan parhaimmillaan alle 2 silmäpistevaiheista mätijyvää yhden lohenpoikasen tuottamiseen, kun mädintarve oli aikaisemmin huomattavasti suurempi. Kirjallisuustietojen perusteella jo muutama prosentti rikkoutuneita mätimunia voi estää hedelmöitymisen lähes kokonaan. Kuolleisuutta on kirjallisuustietojen mukaan pystytty tehokkaasti pienentämään mm. mädin soodahuuhtelulla. Huuhtelulla ei kuitenkaan esim. lijoen lohella tehtyjen kokeiden perusteella ollut selvää vaikutusta haudontavaiheen kuolleisuuksiin (Karjalainen 1993). Mätimunien hengityksen kannalta on tärkeää, ettei kiintoainesta ole vedessä niin, että se sedimentoituu haudontakaukaloön ja tarttuu mätimunän pinnalle. Tästä voi seurata sienikasvuston lisääntyminen, jos ne saavat sopivaa kasvualustaa kuolleista mätimunista. Suodattamalla hautomon ja poikasaltaiden vettä voidaan epäpuhtauksien pitoisuuksia alentaa (Naukkari 1983).

Haudonta silmäpisteasteelle saakka suoritetaan kirjolohella yleensä noin 70 litran ve-toisissa muovisissa haudontasaaveissa. Veden tarpeeksi saavia kohti mainitaan 0,3 l/s 80 000 mätimunaa kohden. Haudonnan loppuvaiheessa mätimunat siirretään kuoriu-tumaan poikasaltaisiin, jotka voidaan mitoittaa tiheydelle 40 000 kpl/m².

2.1.3 Poikaskasvatus

Kirjolohen poikastuotannosta valtaosa, eli 95 % menee ruokakalankasvatukseen, loput istutuksiin (Nylander ja Savolainen 1997). Poikaset viljellään lähes yksinomaan sisä-vesillä. Suominen (1999) arvioi, että 100 000 kg:n 2-kiloista kalaa tuottamiseen tarvitaan 100 000 0-vuotiaista, eli 5-20-grammaista poikasta. Kuolleisuus ja näin ollen myös poikasten tarve vaihtelee runsaasti olosuhteista riippuen. Yleisin toimituskoko on 10-20 grammaa (taulukko 1), vaihteluväli 5-200 g (Lankinen 1999). Poikaskasvatuksen osuus kirjolohenkasvatusprosessin ympäristövaikutuksista ei ole kovin merkittävä. Vaikka poikastuotannon ympäristökuormituksia onnistuttaisiin pienentämään 80 %, merkitsee tämä kalankasvatuksen valtakunnallisen kokonaiskuormituksen osalta vain 4-6 %:n pienemää (Mäkinen 1983).

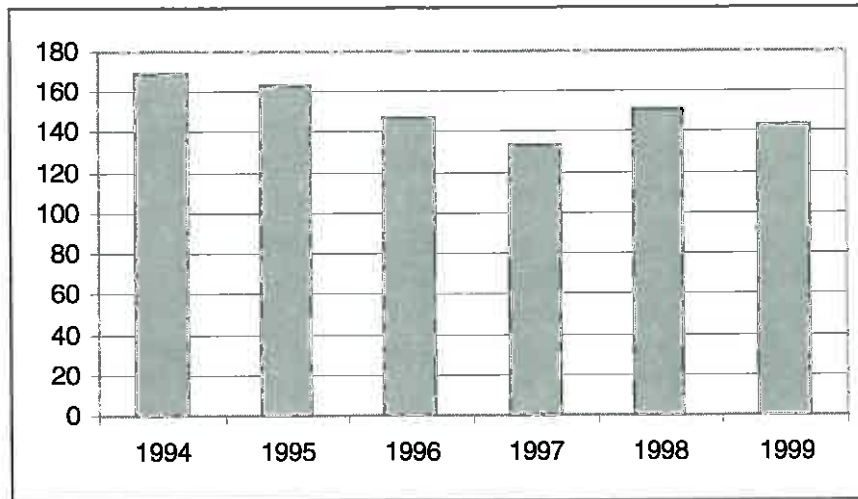
Kirjolohen poikastoimituksen määräksi arvioitiin vuonna 1996 yhteensä 23,5 milj. yksilöä, mikä on 2/3 vuoden 1995 arvioidusta poikasmäärästä 40,0 milj. yksilöä (Kalanviljely 1995, 1996). Lisäksi vuonna 1998 tuotettiin jatkokasvatukseen 1,8 miljoonaa 2-vuotiaita poikasia, ostotarve 1,1 miljoonaa (Suomen Kalankasvattajaliitto ry. 1998). Luvut on saatu kyselyjen perusteella, johon kaikki kyselyn saaneet ovat vastanneet. Kirjolohen poikaskasvatuksesta pääosa tapahtuu sisämaassa: Kainuun, Keski-Suomen ja Pohjois-Savon yhteenlaskettu osuus alle 20-grammaisten kirjolohenpoikasten tuotannosta on 43,5 % (Taulukko 2). Ahvenanmaan tuotanto keskittyy suurempiin poikasiin: yli 200 gramman poikasista 1 486 000 eli 45,2 % tuotannosta on peräisin Ahvenanmaalta (Kalanviljely 1998).

Taulukko 1. Viljellyt kirjolohenpoikaset 1998 ja 1999 (1000 kpl, Kalanviljely 1998, 1999, Suomen Kalankasvattajaliitto ry. 1998).

	Istutuksiin		Jatkoviljelyyn		Kalamäärät		Ostotarve 1998
	1998	1999	1998	1999	1998	1999	
< 20g	-		15 257	14 964	1 936	1 955	Yht.
20-200 g	203	12	5 134	6 521	5 335	8 029	7 800
> 200 g	189	195	3 285	1 957	4 451	10 442	3 300
Yht.	392	207	23 676	23 442	11 922	20426	11 100

Taulukko 2. Kirjoloihen poikaskasvatus alueittain (Kalanviljely 1999).

Maakunta	Lkm. poikasta vuodessa	% kokonaismäärästä
Keski-Suomi	1 773 000	7,56
Pohjois-Savo	1 561 000	6,66
Kainuu	5 432 000	23,17



Kuva 1. Poikaskalalaitosten määrä 1994-98 (Kalanviljely 1994-98).

Kun poikaset ovat oppineet syömään ne siirretään isompiin ja syvempiin altaisiin. Al-
lastilat mitoitetaan siten, että tiheys kasvukauden päätyttyä on noin 15 kg/m³. Huo-
mattavasti suurempiakin arvoja on käytetty mikäli vettä on runsaasti käytössä tai kei-
notekoista hapetusta käytetään (Mustajärvi 1983). Lämmitetyllä vedellä kasvatetut
poikaset painavat kesäkuussa 5-10 grammaa, jolloin ne siirretään jatkokasvatukseen
(Mustajärvi 1999). Poikasten kasvunopeuksia kuvaa taulukko 3.

Kuolleisuudeksi Tanskassa on arvioitu 7 ensimmäisen elinviikon aikana 25 % (2 g),
seuraavien 8 kuukauden aikana 10 % (250 g) ja seuraavien 10 kuukauden aikana 1 %
(Solberg 1985). Suolavedessä kuolleisuus on makeaa vettä suurempi (Persson 1987).
Vuotuinen lisäkasvu on poikaslaitoksella likipitään sama kuin laitoksella oleva suurin
kalamäärä. Kirjolohta on yleensä kasvatettu ulkotiloissa, mutta osa ensimmäisen vuo-
den kasvatuksesta tapahtuu myös hallitiloissa (Mustajärvi 1983).

**Taulukko 3. Eri-ikäisten kasvatuskirjoloihen massoja eri kasvatus-
menetelmien ja tutkimustulosten mukaan.**

	Normaalisti kasvatettu poikanen		Aikaistettu poikanen
	Mustajärvi 1999	Persson 1987	Mustajärvi 1999
1. syksy	25 g	< 100 g	150-300 g
2. kevät	40 g		
2. syksy	400-600 g	600 g	1 500-2 500 g
3. syksy	1 500-2 500 g	2 200 g	

Kirjolohi ei ole samalla tavalla pohja-alaa tarvitseva kala kuin lohi tai taimen, joten kirjolohen kasvatuksessa voidaan käyttää huomattavasti syvempiä altaita kuin lohen tai taimenen. Toisen kesän kasvatusiheydeksi mainitaan 15 kg/m^3 , allassyvyys $1,5 \text{ m}$ ja veden tarpeeksi 50 l/h kg kalaa. Kalojen kunnon on todettu parantuvan virtausnopeuden lisääntyessä (Mustajärvi 1983, 1999). Mikäli vesi saadaan järvisyvänteistä, on siitä laitoksen toiminnan kannalta eräitä merkittäviä etuja. Kesällä on saatavissa tällöin kylmempää ja talvella lämpimämpää vettä jokivesitykseen verrattuna. Laitosten vedentarve voidaan määrittää happipitoisuuslaskelmien avulla. Kaava (Mustajärvi 1983):

$$Q = m \times OD/3600 \times \Delta O_2, \text{ missä}$$

Q = virtaama

m = kalojen biomassa

OD = kalojen hapenkulutus grammoina tuhatta kalakiloa kohti tunnissa.

ΔO_2 = altaassa sallittava veden happipitoisuuden alenema (mg/l).

Veden tarve on karkeasti 1 l/min/kala-kg optimilämpötilassa $15\text{-}18^\circ\text{C}$. Korkeammissa lämpötiloissa hapen tarve nousee (Lankinen 1999). Veden happipitoisuuden laskua alle $4,5 \text{ mg/l}$ pidetään kirjolohen kasvatuksessa vaarallisena. Kasvua rajoittavana pidetään nykyisin 6 mg/l tai jopa 7 mg/l (Pedersen 1983). Kriittisin vaihe on loppukesällä heinä-elokuussa, jolloin vedet ovat lämpimimmillään. Nostamalla happipitoisuutta voidaan viljelykapasiteettia helposti kaksinkertaistaa (Mustajärvi 1983, Wernvall 1983, Naukkarinen 1983). Myös kalojen koko vaikuttaa hapen tarpeeseen: pienemmät kalat tarvitsevat happea massaansa nähden huomattavasti enemmän kuin isot (Stigebrandt 1986).

Esimerkkejä kalankasvatuksessa kokeilluista teknisistä erityisratkaisuksista koskien lähinnä poikaskasvatusta ovat mm. virran kehitys, ilmastus, hapetus, lämmönsäätely ja talteenotto, valaistuksen ohjailu, suodatus, mekaaninen ja biologinen suodatus, sterilointi, kiertovesijärjestelmät, veden kierrätys, seuranta- ja hälytysjärjestelmät, varo/ylläpitoratkaisut sekä lietteen ja liuenneiden ravinteiden poistomenetelmät (Ovaskainen 1983).

Vettä voidaan lämmittää esim. sähköisillä vastuksilla ja lämpöä talteenottaa tai kierrättää lämmönvaihtimilla tai lämpöpumpuilla. Lämmönvaihtimien avulla voidaan saavuttaa $70\text{-}85\%$ hyötysuhde. Veden lämmitykseen käytetään tavallisimmin sähköä. Käytettyjä polttoaineita ovat myös esim. öljy ja puu, joiden lisäksi lämmitykseen on käytetty ylijäämälämpöä esim. teollisuudesta. Veden kierrättäminen säästää energiaa lämmitettäessä prosessin vettä. Kiertojärjestelmässä tulee vedestä saada kierrätetyksi $80\text{-}90\%$, jotta lämmityskustannukset olisivat kohtuulliset. Täysin suljetut kiertovesijärjestelmät eivät ole yleistyneet kylmänvedenkalojen viljelyssä johtuen menetelmän monimutkaisuudesta ja herkkyydestä häiriötekijöille (Wernvall 1983).

2.1.4 Jatkokasvatus

Pääasiallisin kalankasvatusprosessista aiheutuva ympäristöön vaikuttava tekijä on vesistöön päätyvä ravinnekuormitus, joka on lähes kokonaan peräisin jatkokasvatusprosessista. Jatkokasvatusprosessin ravinnekuormitukset keskittyvät voimakkaasti kolmannelle kasvukaudelle ja etenkin sen loppuun. Kolmannen kasvukauden osuus kuormituksesta on $73\text{-}79\%$ (Mäkinen 1983). Nykyisin tosin osa kaloista kasvatetaan kaksivuotiskierrossa. Massasta yli $1/3$ voi olla jo nyt kaksivuotiskierrossa, jossa loppupainot ovat likipitään samat kuin kolmen kasvukauden kaloilla.

Ravinnekuormituksia on käsitelty tarkemmin kohdassa 3. Makean veden kalankasvatus altaissa on usein mahdollista painovoimaisesti virtaavaa vettä hyväksi käyttäen, jolloin pumppauksiin ei kulu energiaa. Altaiden pohjalta on nykyteknikalla 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 verkkoallas-kasvattamoilla partikkelien poistoon ei ole kehitetty realistisin kustannuksin toimivia ratkaisuja (kohta 5.3), mikä on tärkeä ero verrattaessa makean veden ja merialueen kalankasvatusta toisiinsa.

Kalanviljelylaitoksen sijoittamispaikkaa päätettäessä olennainen tekijä on veden happitilanne kaikkina vuodenaikoina. Laitokselle on eduksi, jos se sijaitsee suurten, syvien ja karujen vesistöjen yhteydessä. Merilaitos on oltava suojassa korkealta aallokolta ja toisaalta myös talviselta alijäähtymiseltä: kylminä talvina veden lämpötila voi olla jopa $-0,6^{\circ}\text{C}$, mikä on kirjolohelle tuhoisaa. Vaihtoehdoksi jää usein laitoksen tyhjentäminen talvella tai kalojen siirtäminen. Laitoksen siirtämisen edellytys on tietenkin, että se on kelluva (Bergman 1983).

Altaat

Kirjolohta kasvatetaan pääasiassa verkkoallaslaitoksissa. Näitä ovat mm. kelluvat, upotettavat ja pohjalle sijoitetut verkkoaltaat sekä rannalta rannalle ja kapeikkoja sulkevat verkkoaitaukset (Ovaskainen 1983). Kalatiheydet vaihtelevat välillä 10-80 kg/m^3 . Tukirakenteina verkkoallaskasvatuksessa käytetään mm. styrox-täytteisiä puusta tehtyjä pontooneja, PVC-putkia ja metallikehikoita. Kehikoiden ja verkkoallasmateriaalin merkitys ympäristön kannalta on vähäinen johtuen pitkästä käyttöajasta, 4-5 vuodesta jopa 15-20 vuoteen. 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 parametreissa, kuten kasvussa tai rehun kulutuksessa, 10-15 % (Eriksson 1999), tai noin 20 % (Sjöblom 1999).

Käytännössä on todettu, että kala käyttää hyvin altaan tilavuutta hyväkseen jopa sen ollessa 10 metriä syvä, edellytyksenä syvempien vesikerrosten riittävä happipitoisuus. Tarvittavaksi virtaamaksi Suomessa on laskettu 28 l/s vuosittaista tuotantotonna kohden (Alabaster 1982). Eräissä ruotsalaisissa kasvattamoissa virtaama on 30-600 l/s t tuotantoa (Johansson 1986). Verkkoallasviljelyssä on arvioitu tehokkaaksi virtaamaksi altaassa 1-2 cm/s kalatiheydelle 10 kg/m^3 , joka vastaa keskimääräistä virtaamaa 5 cm/s altaan ulkopuolella (Pedersen 1982). Altaaseen elinympäristönä vaikuttavat lähinnä hygienia, valaistusolot sekä kalojen yksilö- ja massatiheydet pinta-alaa ja tilavuutta kohden (Naukkarinen 1983).

Kalankasvattamot käyttävät vaihtelevia määriä antifouling-materiaalia estämään verkkoalaiden levääntymistä. Kulutus vaihtelee, 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. Antifouling-materiaalin valmistajia ovat mm. norjalainen F. Steen-Hansen ja Mobiclet Naantalista, tuotteita esim. norjalainen Copper-net ja suomalainen Netrex (Sjöblom 1999, Husell 1999). Antifouling-materiaalin käytöstä seurauksena on ympäristön kannalta raskasmetallipitoisuuksien nouseminen pohjasedimentissä kalankasvattamon läheisyydessä. Cu_2O -pitoisuus esim. Netrexissä on 10-20 paino-%, jolloin kuparidioksidia päätyisi näin ollen vesistöön suuruusluokaltaan noin 750 g/t tuotettua kirjolohta. Muita vahingollisia, aineita, kuten eri maissa karsinogeenisiksi tai teratogeenisiksi luokiteltuja aineita Netrex ei sisällä (Erkkilä 1999b). Norjalaisen tutkimuksen mukaan verkkoaltaisiin jää kuparia 15 % antifouling-materiaalin käyttöiän aikana ja 85 % joutuu vesistöön (SFT 1998).

Laitteisto

Merilaitoksilla ei yleensä ole sähköenergiaa vievää laitteistoa. Mahdolliset sähkölaitteet toimivat aurinkopaneeleilla ja akuilla (Suominen 1999, Öström 1999). Monilla merialueen kalankasvatulaitoksilla on merkittäväksi ongelmaksi havaittu erityisesti loppukesän ja alkusyksyn aikana vesien happipitoisuudessa tapahtuvat suuret muutokset. Samoihin aikoihin ajoittuu myös kalojen tehokkain ruokintakausi. Suuret ja nopeasti tapahtuvat happipitoisuuden alenemat saavat kalat voimaan huonosti, lisäävät kuolleisuutta ja heikentävät rehujen hyväksikäyttöä sekä samalla lisäävät vesistökuormitusta (Tiainen *et al.* 1996). Suositeltava happipitoisuuden keskiarvo vedessä on yli 9 mg O₂/l ja alhaisin väliaikainen pitoisuus 5 mg O₂/l (Alabaster ja Lloyd 1984). Suolavedessä pitoisuudet voivat olla 23 % alhaisemmat (Persson 1987).

Ongelmien ratkaisemiseksi voidaan käyttää virrankehittämiä, tai syöttää esim. happigeneraattoreiden tuottamaa happea suoraan kasvatusaltaisiin. Parhaat tulokset lienevät saavutettavissa yhdistämällä hapetus ja ruokinta-automaatiikka oikein ohjatuksi toisiinsa. Happiolosuhteiden parantamisella saavutettavaa hyötyä ja kuormituksen vähennystä ei voida yksiselitteisesti mitata, mutta karkeana arviona voidaan olettaa saavutettavan parhaimmillaan 5-10%:n vähennys vesistöön joutuvasta maksimikuormituksesta. Tehokkaimman hapetuslaitteiston investointikustannukset voivat olla keskikokoiselle kasvatusyksikölle noin 250 000 mk. Laitteistojen käyttökulut ovat yleensä kohtuulliset (Tiainen *et al.* 1996).

Kalojen valintajalostus

Kirjolohen valintajalostuksella voidaan nopeuttaa kasvua, myöhäistää sukukypsyyssikää sekä parantaa fileasaantoa ja rehun hyödyntämistehoa, jolloin vesistökuormitukset vähenevät. Jalostustoiminnolla voidaan myös alentaa kalan tuotantokustannuksia, kuolleisuutta ja tautiherkkyyttä (Eskelinen 1998, Tiainen *et al.* 1996, Pursiainen 1992). Myöhäisestä sukukypsyydestä on hyötyä, koska kirjolohet ovat kutuaikana ja sen jälkeen sekä lihaltaan, että ulkonäöltään huonossa kunnossa (Jaakkola 1983). Norjassa lohien ja kirjolohen jalostustyöllä on yli 20-vuotiset perinteet (Rissanen 1998). Suomessa kalojen kantavertailut aloitettiin 80-luvun alkupuolella. Jalostuksen perusohjelmalla on arvioitu saavutettavan ensimmäisen kymmenen vuoden jälkeen 330 milj. markan vuotuinen hyöty kalanviljelylle ja sen jälkeen jatkuvasti kasvavaa hyötyä (Pursiainen 1992). Tavoitteisiin kuuluu kahden kasvukauden tuotantokierto ilman aikaistettua starttia (Sillman-Valle 1999). Kirjolohen jalostusohjelmassa ensimmäisen valintasukupolven kalojen kasvukyky teurasikänsä oli noin 300 g suurempi kuin edellisen sukupolven. Edistyminen oli odotetusti noin 10 % (Eskelinen 1998). Jalostettujen kalojen yleistymisen käytössä vie kuitenkin pitkän ajan (Sillman-Valle 1999).

Koska naaraiden teuraspaino on suurempi kuin koiraiden niiden myöhemmän saavutettavan sukukypsyyden vuoksi, suomalaisessa kalankasvatuksessa tuotetaan nykyisin naarasparvia käyttäen ns. xx-maitia, jota tuotetaan näiden kalojen hormonikäsittelyn avulla. Naarasparvien tuottamiseen tarvitaan testosteronia 0,1-0,2 mg/rehu-kg koiraksi kasvatettaville emokaloille (Sillman-Valle 1999). Naaraskalojen lihan laatu on parempi kuin koiraskaloilla. Täysnaaras- ja steriiliparvia kyetään nykyisin tuottamaan kirjolohella ja lohella. Suomen kalankasvattajaliiton poikastiedustelun mukaan vuonna 2000 laitoille ostettavista poikasparvista 98 % on täysnaarasparvia (Nykänen ja Karlsson 2000). Loput ovat sukupuolisuhteiltaan normaaleja parvia. Steriiliparvia ei tuoteta Suomessa (Lankinen 2000).

2.1.5 Perkaus

Kalanviljelylaitoksessa tuotettu kirjolohen käsittely alkaa kalojen kokoamisella, lajitelulla ja nostamisella. Sitten kalat tainnutetaan ja veri valutetaan pois. Sisäelimet poistetaan ja kala pestään, lajitellaan, punnitaan, jäädytetään ja jätetään. Pakkaamisen jälkeen se on valmis kuljetettavaksi vähittäiskauppoihin (Ranne 1995, Jaakkola 1983). Mustosen (1992) tutkimassa 58 laitoksesta 26:ssa tainnutustapana oli hiilidioksidi ja 17:ssä sähkö, tainnutusta ei ollut ollenkaan 13 laitoksessa. Tainnutus hiilidioksidilla on edelleen yleinen menetelmä ja sen kulutus on noin 0,8-1,7 kg/t kalaa (Sjöblom 1999, Öström 1999, Eriksson 1999). AGA:n valmistama hiilidioksidi on sivutuote muista prosesseista, joten sen merkitys ympäristön kannalta voidaan arvioida lähes nolllaksi (Räisänen 1999). Verenpoistoon kuuluu kaksi vaihetta: kalan pisto ja veren valutus. Pistetty kala siirretään tyhjennysaltaaseen, jossa kalan sydän pumppaa veren pois (Jaakkola 1983). Verta on noin 5 % kalan painosta ja se aiheuttaa suurimman osan perkauksen kuormituksista (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Mitä verettömämmäksi kala saadaan, sitä paremman laatuista se on. Peratulla kirjolohella on kaupallinen laatuluokitus, jonka mukaan kala on jaettu superior-, standardi- ja prosessiluokkaan. Luokituksen vaatimuksia ovat mm. väri, perkausjäljet, munuaisten poistotehokkuus, haju ja maku (Juvankoski *et al.* 1998).

Mustosen (1992) tutkimasta 58:sta perkaamosta 81 % oli koneellisia, 14 % manuaalisia ja 5 % niiden yhdistelmiä. Perkaus ei nykyisinkään vielä ole aina täysautomaattista. Esim. vatsa voidaan avata manuaalisesti ja huuhdella huuhtelulaitteistolla jne. Tukkukaupan yhteyteen sijoitetuilla perkaamoilla on korkeampi käytöaste, joten ne ovat koneistetumpia ja kasvattamoiden yhteydessä toimivat perkaamot ovat useammin manuaalisia (Honkanen 1999). Energiaa kuluttavat perkauskoneiden lisäksi pumppaukset ja sähkömoottoreilla toimivat kuljettimet, yhteensä ehkä noin 15-20 kWh/t perattua kalaa (Suominen 1999). Perkauksen energiankulutukset tuntuvat vaihtelevan varsin paljon. Myös jäittäminen kuluttaa energiaa. Pesuvedenä käytetään joko luonnon- tai talousvettä (Mustonen 1992). Mittaustulosten mukaan kilon suuruinen kala vaatii huuhteluvettä 1,5-2,5 litraa, tainnutusvaiheessa veden vaihtuvuudeksi riittää kokemuseräisen tiedon mukaan 0,2 l/kg ja harjapesureiden käyttämä vesimäärä taas on 0,3 l/kalakiloa. Yhteensä koko perkausprosessissa veden tarve on noin 3 litraa perattavaa kalakiloa kohti, mutta työtavoista ja perkauskalusteista riippuen veden tarve vaihtelee kuitenkin huomattavasti eri laitoksilla (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988, Mustajärvi 1999). Jäätä tarvitaan noin 200 g/kg kirjolohta (Setälä ja Honkanen 2000) ja jääkone kuluttaa energiaa norjalaisen FLNSAM-yhtiön myyntipäällikön mukaan 55 kWh/t (Lillsunde 2000).

Myyntikokoisen kirjolohen kokonaispainosta 15-20 % on perkausjätettä (Suominen 1999, Vihervuori *et al.* 1997) eli ruansulatus- ja muuta sisäelimestöä, verta sekä suolistorasvaa. Lisäksi kidusten osuus kalan massasta on 2,7 % (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Kirjolohen perkausjätettä syntyy Suomessa vuosittain 3-4 milj. kg. Perkausjäte voidaan säilöä hapolla, tavallisimmin muurahaishapolla, mutta myös rikkihapolla. Happosäilötty perkausjäte voidaan käyttää pehmeäraehren raaka-aineeksi tai turkiseläinten ravinnoksi (Ruuhonen ja Vielma 1994, Mustonen 1992). Happosäilötyn perkuujätteen muurahaishappopitoisuus on yleensä noin 1 % perkuujätteen massasta (Pölonen 1999). Ahvenanmaalla happosäilöttyä perkuujätettä on noin 700-800 t (Karlsson 1999) ja Lounais-Suomen alueella 300 t (Nurmi 1999), eli suunnilleen 10 % alueen tuotantomäärästä 11070 t. Muurahaishappoa voidaan siis laskea käytettäväksi keskimäärin suunnilleen 1 kg/t kirjolohta. Happosäilötty perkausjäte voidaan käyttää pehmeäraehren raaka-aineeksi tai turkiseläinten ravinnoksi (Ruuhonen ja Vielma 1994, Mustonen 1992). Turkistarhat sijaitsevat pääasiassa Pohjanmaalla. Osa perkausjätteestä viedään kaatopaikalle, osa kasvattajista on taas saanut luvan käsitellä jätteensä itse, esim. maakuopissa (Honkanen 1999). Perkausjätteiden sisältämä fosforimäärä on noin 0,5 kg/t tuotettua kalaa (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Ylijäämäkalan aumakompostointi on tietyin edellytyksin hyvä menetelmä maataloudesta peräisin olevien ra-

vinne päästöjen palauttamiseksi vesistöistä takaisin peltoon. Kompostointiprosessin hajotustoiminta on tehokasta, ja hajuhaittoja esiintyy ainoastaan prosessin alkuvaiheessa. Kalakomposti on varsin tehokas orgaaninen typpi- ja fosforipitoinen lannoite, jonka ravinteet ovat suurelta osalta viljelykasveille käyttökelpoisessa muodossa. Raskasmetallipitoisuudet olivat koekomposteissa peltoviljelyn raja-arvojen alapuolella (Roinila ja Räikkönen 1996).

Valtaosa rehuksi kelpaavasta kala- ja kalajättemäärästä käytetään turkistarhoilla. Käyttämättä jäänyttä kalaa on myös haudattu maahan ja kynnetty mullukseen, jossa se on vähitellen maatonut lannoitteeksi. Kalan ja kalajätteiden käyttöä lannoitteena on estänyt pilaantuvan kalan haju, joka houkuttelee hyönteisiä ja muita eläimiä (Roinila ja Räikkönen 1996, Nylander ja Savolainen 1997).

Perkausjätevesien kuormitus on kalankasvatukseen aiheuttamaan kuormitukseen verrattuna selvästi pienempi. Perkausjätevesikuormitus ajoittuu lähes kokonaisuudessaan loppusyksyyn ja alkutalveen. Perkausjäteveden laatu ja niiden aiheuttama kokonaiskuormitus Suomessa vuonna 1986 tuotannolle 10 milj. kg edellyttäen, että perkuujätteet kerätään huolella talteen on esitetty taulukossa 4 (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988).

Taulukko 4. Perkausjäteveden ominaisuuksia ja perkauksen aiheuttama kokonaiskuormitus Suomessa (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988).

Kuormitus	Pitoisuuksia	Kokonaiskuormitus
kok.-P	20 (2-40) mg/l	0,5 t
kok.-N	200 (30-500) mg/l	5 t
BHK ₇	2000 (199-5400) mg O ₂ /l	50 t
kiintoaine	350 (100-11000) mg/l	9 t
NH ₄ -N	0,3-68 mg/l	
COD _{Mn}	41-1500 mg/l	
pH	5,7-7,5.	

Perkausjätevedet sisältävät rasvaa ja huomattavia määriä suolistoperäisiä bakteereja, jotka eivät kuitenkaan merkitse ihmiselle vaarallista ulostesaastutusta. Jätevesien laadun suuret erot johtuvat perkaamon toiminnan vaihteluista, veden käytön vaihteluista ja prosessiteknikasta (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Perkausjätevedet tulee ensisijaisesti johtaa viemäriverkostoon, mikäli se perkaamon sijainnin vuoksi on mahdollista. Suurten kalamäärien käsittely saattaa aiheuttaa hetkellisiä toimintahäiriöitä pienissä kunnallisissa puhdistamoissa, jolloin auttaa tavallisesti perkaamon yhteyteen rakennettava tasausallas. Jätevesi voidaan esikäsitellä suodattamalla tai sakokaivoilla ennen viemäriverkkoon johtamista (Salo ja Sundell 1996). Vähäiset perkausvesimäärät voidaan johtaa umpikaivoon. Umpikaivoa on käytettävä, jos on olemassa pohjavesien pilaantumisvaara. Jätteet on vietävä kaivosta jätevedenpuhdistamolle tai käytettävä esimerkiksi peltojen lannoitteena (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Osa viedään kaatopaikalle ja osa käytetään turkiseläinten ravinnoksi (Suominen 1999). Rasvanerotuskaivot näyttävät tällä hetkellä yleiseltä ratkaisulta (Husell 1999, Sjöblom 1999, Eriksson 1999). Lähtevä vesi voidaan käsitellä esim. turve-hiekkasuodatuksella. Mustosen (1992) tutkimasta sadasta perkaamosta 11 laski jätevetensä puhdistamattomana vesistöön.

Mäti otetaan talteen, jos perkausajankohta on silloin kun mätiä on eli syksyllä tai talvella. Mätiä on keskimäärin 4 % kalamassasta ja vaihtelu välillä 0-12 %. Mädin hinta vaihtelee 40-80 mk/kg eri vuosina (Lankinen 1999) eli sivutuotteen arvo saattaa näin ollen kohota jopa neljännekseen varsinaisesta peratun kalan myyntiarvosta (Liukkonen 1992, Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Vuonna 1999 kirjolohen mädin tuotanto oli

Suomessa 364 t, eli 2,3 % tuotetun kirjolohen massasta ja taloudellinen arvo 17 Mmk, eli 7,0 % tuotetun kirjolohen taloudellisesta arvosta 244 Mmk (Kalanviljely 1999).

Fileointi tapahtuu useimmiten vasta jalostamalla (Suominen 1999, Öström 1999). Kasvattamoilla fileointi tapahtuu usein käsin (Mustonen 1992). Nahallisen fileen maksaksi on mainittu 58 % ja nahattoman fileen 52 % kirjolohen kokonaismassasta. Kirjolohesta fileoitiin 4,8 miljoonaa kiloa vuonna 1996, eli 27,1 % tuotannosta (Vihervuori *et al.* 1997).

2.1.6 Jatkojalostus

Johtuen siitä, että jalostus rajattiin Kalankasvatuksen elinkaaritarkastelu-projektin ulkopuolelle käsitellään jalostus tässä raportissakin ainoastaan pintapuolisesti läpi. Kirjolohta jalosti vuonna 1996 138 eri kokoista yritystä (taulukko 5). Kymmenen suurinta yritystä jalosti yli puolet jalostukseen tulleesta kalamäärästä. Kalanjalostusyrityksistä lähes puolet sijaitsi Länsi-Suomen läänissä, jonka osuus oli 70 %. Kalanjalostus työllisti yli 1 200 henkilöä, joista 450 työskenteli osa-aikaisesti. Kalanjalostuksen työllistävyys henkilötyövuosina oli yhteensä yli 900 työvuotta (Vihervuori *et al.* 1997).

Taulukko 5. Kalanjalostusyritysten koko jalostetun kalamäärän mukaan ja erikokoisten yritysten jalostama kalamäärä yhteensä (1 000 kg).

kg	Yritysten määrä		Jalostusmäärä yhteensä	
	kpl	%	1 000 kg	%
< 1 000	8	4	3	0
1 000-5 000	37	18	93	0
5 000-10 000	28	14	191	1
10 000-50 000	56	28	1 240	3
50 000-100 000	16	8	1 127	3
100 000-500 000	36	18	8 221	21
500 000-1 000 000	12	6	8 122	21
> 1 000 000	9	4	19 774	51
Yht.	202	100	38 771	100

Kaksi kolmasosaa kaikesta kotimaisesta ihmisravinnoksi tarkoitettusta kalasta tulee talouksien käyttöön jalostamattomana, johtuen osaksi siitä, että suomalaiset käyttävät kotitaloudessaan huomattavia määriä itse pyytämäänsä kalaa. Vuonna 1995 suomalainen kalanjalostusteollisuus käytti kotimaista raaka-ainetta 24,4 miljoonaa kiloa ja ulkomaista raaka-ainetta 5,3 miljoonaa kiloa. Perkaamattomaksi painoksi muutettuna kotimaista kalaa jalostettiin noin 28,2 miljoonaa kiloa, mikä oli 22 % kyseisen vuoden ammattikalastuksen ja kalanviljelyn tuotannosta. Kotimaisesta jalostetusta kalasta puolet fileoitiin, neljäsosa pakastettiin ja kuudesosa savustettiin. Silakan (n. 20 000 t) ja kirjolohen (n. 10 000 t) osuus kotimaisesta raaka-aineesta oli yhteensä 90 %. Kalamassaa valmistettiin noin 0,3 miljoonaa kiloa, josta noin 80 % oli kirjolohesta. Mätiä jalostettiin noin 0,6 miljoonaa kiloa, mistä kirjolohen mätiä oli 80 %. Mädistä lähes puolet vietiin ulkomaille. Erilaisten kotimaisesta ja ulkomaisesta kirjolohesta sekä tuontilohesta tehtyjen jalosteiden määriä on esitetty taulukossa 6. Muut kotimaisesta kirjolohesta jalostetut tuotteet olivat pakasteita 182 t, hiillostettua 8 t, puolissäilykettä 49 t, täyssäilykettä 5 t, einestä 540 t, massaa 40 t ja muita tuotteita 64 t (Vihervuori *et al.* 1997, Nylander ja Vihervuori 1997).

Taulukko 6. Erilaisten kirjolohesta ja lohesta tehtyjen jalosteiden tuontimääriä Suomeen vuonna 1997 (Vihervuori *et al.* 1997).

	Kotim. kirjolohi	Tuontikirjolohi	Tuontilohi
Nahallinen file	3 981 t	45 t	810 t
Nahaton file	803 t		55 t
Tuoresuolattu	740 t	5 t	152 t
Kylmäsavustettu	2128 t	10 t	133 t
Savustettu	1 410 t	10 t	102 t
Muut tuotteet	888 t		5 t
Kokonais määrä	9 949 t	70 t	1 258

Kirjolohi kuljetetaan usein kasvatuslaitokselta suoraan kauppoihin, esim. Keskolla tuore kirjolohi ei kulje keskusvaraston kautta lukuun ottamatta pakastetuotteita, joita käytetään paljon suurkeittiöissä. Tuoreen kirjolohen varastointiaika vähittäiskaupoissa on lyhyt – useimmiten alle vuorokausi (Eronen 1999). Varastointi ei siis liene merkittävä tekijä kirjolohenkasvatuksen elinkaareissa. Keskimääräisistä kuljetusmatkoista on myös vaikea saada täsmällisiä tietoja.

Jalostuksesta kylmäsavustus kuluttaa suolaa 20 g/kg ja lämminsavustus alle 10 g/kg. Savustamalla energiaa kuluu uunin lämmitykseen, kylmäsavustuksessa taas savun jäädytykseen n. 18°C:en, mikä tapahtuu useimmiten kylmällä ilmalla esim. tuulettimia apuna käyttäen. Teollisilla savustamoilla savu joudutaan suodattamaan karsinogeenisten yhdisteiden takia. Savun tuottamiseen kuluu esim. leppäpuruja 6,25 g/kg kalaa. Lämminsavustukseen kuluu aikaa 0,5 h, kylmäsavustukseen jopa 3 vrk. Syyttämiseen voidaan tarvita esim. nestekaasua.

Kalanjalostusyritys Hätälä Oy:lle Ouluun tulevat sekä kotimainen lohi, että norjalainen merilohi perattuna kokonaisena kalana. Fileointi tapahtuu paikan päällä. Kiinteistä jätteistä 1500 kg/t menee rehunvalmistukseen ja muu prosessissa syntyvä kiinteä jäte, 160 kg/t kaatopaikalle. Suotonauhapuristimesta tuleva flokkausjäte päätyy kompostoinnin jälkeen viheralueluullaksi. Energiankulutus on noin 2340 kWh/t tuotetta, sisältäen savustuksen ja fileoinnin lisäksi jäädytykset ja erilaiset lämmitykset. Jätevesimäärä on 0,02 m³/t tuotetta (Hätälä 1999).

2.1.7 Kuljetukset

Kala

Kala on helposti pilaantuva elintarvike nopeasti etenevien mikrobiologisten, entsyymaattisten ja biologisten muutosten takia (Laine 1983). Kalan pilaantumista aiheuttavat bakteerit, hapettuminen, entsyymit jne. (Randell ja Ahvenainen 1994). Mikrobiologinen toiminta aiheuttaa mm. muutoksia kalan proteiinipitoisuudessa ja epämiellyttäville haisevien yhdisteiden, kuten esim. trimetyyliamiinin ja rikki-yhdisteiden vapautumista (Anon. 1992). Karotenoidien ja hemiproteiinien hapettuminen aiheuttaa punaisen lihan osuuden vähenemistä. Rasvojen hapettuminen muodostaa radikaalireaktioiden kautta peroksideja, jotka vauhdittavat rasvojen hapettumista ja tuhoavat myös vitamiineja (Colby 1993, Anon. 1992). Kalan entsyymitoiminta on 10 kertaa vilkkaampaa kuin tavallisen punaisen lihan (Colby 1993).

Tuoreen kalan kuljetuksia varten on kehitetty konttikuljetusjärjestelmä, jonka perusmodulissa, hyvin lämpöeristetyssä kalakylmiössä, kalaa voidaan säilyttää tuoreena jäätyneenä useita vuorokausia (MMM 1987). Osa kasvattamoista hoitaa itse kalojensa kuljetuksen. Omat autot eivät yleensä ole jäädytettyjä, mutta kuljetusmatkat ovat lyhyitä. Yli 200 km:n kuljetukset tapahtuivat kylmäautoilla. Kuljetusmatkat vaihtelevat, esim. Brändö-Lax vie kalaa Helsinkiin, Kuopioon, Jyväskylään ja Turkuun (Öström

1999). Useimmiten kuljetusmatka on alle 50 km, muutamassa tapauksessa 50-100 km ja harvoin yli 100 km. Saaristosta kalat tuodaan veneillä rantaan jatkojalostusta varten (Mustonen 1992). Paluukuormilla tuodaan useimmiten rehuja laitoksille (Suominen 1999).

Rehu

Rehunkuljetusmatka on keskimäärin 60-70 km Lounais-Suomessa ja Ahvenanmaalle, missä kasvatetaan yli 80 % kirjolohesta. Kerralla rehua kuljetetaan keskimäärin 12 t (10-15 t lähialueille) tai suurille laitoksille 28-36 tonnia. Autot tulevat yleensä takaisin täysinä, kuljetusmatka paluukuormat huomioiden voisi olla esim. 1,34 x yhdensuuntainen matka (Mattila 1999). Kuormien koko vaihtelee myös vuodenajan mukaan: keväällä vähemmän syksyllä enemmän. Yleensä suuremmat kertakuljetukset menevät Kainuuseen ja Lappiin. Keskimääräinen kuljetusmatka on ehkä 150 km (Pihlava 1999). Osa tuontirehusta tulee ainakin Ahvenanmaalle suoraan valmistusmaasta.

Muut kuljetukset

Kalojen ja rehun merikuljetuksessa kuluu vaihtelevia määriä polttoöljyä ja bensiiniä. Kuljetusmatka ulompana merellä sijaitseviin laitoksiin on keskimäärin 3 km. Poikaskala tuodaan laitoksille yleensä Savosta, Keski-Suomesta tai Kainuusta, mutta myös Satakunnasta ja Uudeltamaalta. Yhteen 2,4 m³ tankkiautokuormaan mahtuu kirjolohen poikasia seuraavasti: 200 000 kpl 10-grammaista, 175 000 kpl 15-grammaista 150 000 kpl 20-grammaista kirjolohen-poikasta, jolloin kuljetuksen massa on noin 2,5-2,6 t. Poikasmäärät vaihtelevat muutamasta sadasta 200 000:en, kuljetusmatka voisi olla keskimäärin noin 400 km. Tankkikoko voi olla myös 1 m³ (Lankinen 1999). Auto joutuu ajamaan tyhjänä takaisin ja se joudutaan myös desinfiioimaan (Suominen 1999).

Kalan jalostuksessa kuljetusmatkat ovat esim. Hätälä Oy:ssä Oulussa seuraavat: Kirjolohti jalostamoon 300 km, merilohi Norjasta jalostamoon 900 km, suola jalostamoon 500 km, kaatopaikkajäte 14 km ja rehuntuotantoon käytettävä jäte 50 km (Hätälä 1999).

2.1.8 Pakkaukset

Tuoreet kalat pakataan kasvattamoilla 10 kg:n tai 20 kg:n vetoisiin, solumuovisiin kertakäyttöpakkauksiin. Kotimaan kaupassa käytetään lähinnä 10 kg:n, viennissä 20 kg:n laatikoita (Jaakkola 1983). Ahvenanmaalle ja Lounais-Suomeen laatikot tulevat usein Muurlasta Walkilta, kuormassa esim. 2 000-4000 laatikkoa kerrallaan (Öström 1999, Eriksson 1999). Valmistajia on kuitenkin useita (Sivula 1999). Peterson Walkin 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. Penttaania on raaka-aineessa 5,5 %, mikä päättyy ilmakehään. Jätettä tai jätevesiä ei synny. Materiaali on kevyttä: 100 m³:n rekkalasti painaa suunnilleen tonnin (Sivula 1999).

Rehun pakkaukseen käytetään n. 500 kg:n suursäkkejä ja 25 kg:n piensäkkejä. Rehuraisio Oy:ssä käytetään keskimäärin suursäkkejä 1,4 kpl/t ja piensäkkejä 12 kpl/t. Säkkien koko voi olla myös 800 kg. Säkit valmistaa UPM-Rosenlew Oy ja ne on valmistettu muovilla vuoratusta säkkikankaasta. Kuljetusmatka on noin 130 km ja dieselin-kulutus noin 25 l/100 km, osa suursäkeistä kierrätetään. Kuorma-autot palaavat yleensä myös täysinä, joten mukaan lasketaan vain kuljetus yhteen suuntaan. Piensäkin massa on 100 g. Piensäkkejä kuljetetaan yhdellä kuljetuskerralla 50 000 kpl, jolloin yksi kuorma painaa 5 tonnia, suursäkkejä taas 2 850. Lavoina käytetään eurolavoja tai kertakäyttölavoja yhteensä 0,019 kpl/t. Pakkauksiin käytetään kiristekalvoa 0,25 kg/t

(Mattila 1999, Marttila 1999). Samoja lavoja käytetään edelleen kirjolohen kuljetuksessa kasvattamoilta jatkojalostukseen tai myyntiin. Myös BioMarilla käytetään suursäkkejä (Öström 1999). Säkkien valmistukseen tarvitaan polyeteeniä ja -propania, päästöt rajoittuvat painovärin liuottimista haihtuviin osuuksiin. Jätevettä ja muita ilmapäästöjä ei synny. Muoviraaka-aineen valmistaa Borealis Polymers Oy (Viljanen 1999). Piensäkin valmistus kuluttaa energiaa 0,5-0,6 kWh/säkki, suursäkin taas 3 kWh/säkki. Liuotinpäästöjä syntyy etyyliasetaattia ja isopropanolia suunnilleen sama määrä, yhteensä 2,25-4,5 g/piensäkki ja 15 g/suursäkki. Piensäkin raaka-aine on polyeteeni, suursäkin polyeteeniä 40 % ja -propeenä 60 % (Sipilä 1999).

Kalajauho pakataan yleensä tonnin suursäkkeihin, jotka ovat kierrätettäviä. Säkeistä kalajauho imutetaan auton lavalle. Hivenaineet pakataan säkkeihin, tai alumiinipakkauksiin (Norrgård 1999a). Valmiin kalatuotteen pakkauksiin parhaita ovat ympäristön kannalta hyvin ohuet, mutta suojaavat kalvot. Vaatimukset keveistä, turvallisista ja helposti käytettävistä pakkauksista ovat johtaneet useampikerroksisiin muovipakkauksiin. Biohajoavat ja valokemiallisesti hajoavat muovit on myös nähty ratkaisuna jätteenkäsittelyongelmiin. Materiaaleja voidaan myös kierrättää polttamalla jolloin lämmön voi ottaa talteen (White 1990).

2.2 Rehuvirrat

2.2.1 Rehun tuotanto- ja myyntimäärät

Vuonna 1996 käytettiin lähes yksinomaan kuivarehua, jota valmistettiin Suomessa 28,4 miljoonaa kiloa. Lisäksi maahan tuotiin jonkin verran ulkomaista kuivarehua. (Nylander ja Savolainen 1997). Suurin Suomessa toimiva rehujen valmistaja on Rehuraisio Oy, Suomen Rehu Oy lopetti toimintansa vuoden 1999 loppupuolella. Rehua tuovat yhtiöt ovat Biomar Oy ja Wasa Opti Oy. Kalanrehutuotanto edustaa 2-3 %:a rehun kokonaistuotannosta Suomessa (Mattila 1999). Vuonna 1998 kalanrehua käytettiin 23 miljoonaa kiloa, sisältäen tuontirehun (Rankanen 1999). Rehun kulutustiedot perustuvat RKTL:n teettämiin kyselyihin rehun valmistajalle sekä viranomaisten tekemiin kyselyihin kalankasvattajien rehunkäytöstä.

2.2.2 Rehulajit

Kirjolohen ruokinnassa käytetään pääasiassa kuivarehuja. Käytettäessä Itämerestä pyydettyä silakkaa eri rehulaatujen raaka-aineena kierrätetään tältä osin ravinteita Itämeren sisällä eikä tuoda lisäravinteita Itämeren ulkopuolelta. Silakan käyttö rehuna esyy kuitenkin korkeiden dioksiinipitoisuuksien vuoksi. Muita epävarmuustekijöitä ovat rehuksi kalastuksen estävät määräykset, tarvittavien silakkamäärien saatavuus ja varastointi, rehujen valmistustekniikat sekä -kustannukset (Tiainen *et al.* 1996). Silakka-pohjaiset pehmeäraehut aiheuttavat myös paikallisesti voimakkaamman ravinnekuituksen kuin kuivarehut, joten silakkarehut tulevat kysymykseen lähinnä ulkosaaristossa ym. alueilla, joilla silakan kalastus on voimakasta ja vesialueiden muu käyttö vähäistä (Hakala *et al.* 1994).

Silakan elohopeapitoisuudet ovat yleensä enimmillään 0,05-0,07 mg/kg kilossa eli vain n. 10 % käyttörajoituksia aiheuttavasta pitoisuudesta 0,5 mg/kg (Kiesvaara *et al.* 1992). Silakan lyijypitoisuudeksi on laskettu 10 µg/kg (Haahti 1991) ja kadmiumpitoisuudeksi 0,06 µg/kg, kun yläraja on 0,1 µg/kg (Kiesvaara 1992). Silakan dioksiinipitoisuus on tuorepainoa kohti 8,0 pg TEQ/kg (Hallikainen ja Kiviranta 2000) ja PCB-pitoisuus 4,7 pgTEQ/g (Kivuranta *et al.* 2000), rasvassa taas dioksiineja 226 pg/kg I-

TEQ ja PCB:tä 394 pg/g I-TEQ (Vartianen ja Hallikainen 1995). DDT-pitoisuus on keskimäärin 3-60 µg/kg, mutta korkeimmillaan jopa 190 µg/kg (Kiesvaara et al. 1992).

2.2.3 Rehujen ravinnepitoisuudet

Kasvintuotannon tarkastuskeskus (KTTK) valvoo teollisten kuivarehujen valmistusta ja koostumusta rehuasetuksen mukaan, KTTK:n aineistojen 1995-96 mukaan kuivarehujen fosforipitoisuus oli keskimäärin 1,18 %, enimmillään 1,4-1,6 %, pienimmillään 0,8 % ja vakuustodistuksen mukaan keskimäärin 0,99 %. Kuivarehun typpipitoisuus on kuivarehuilla 7-8 % ja eroa KTTK:n mittauksilla ja vakuustodistuksilla oli 0,09-0,23 % (Ruohonen ja Vielma 1994, Aarnipuro 1992). Rehun ravinnepitoisuuksina voidaan pitää riittävän tarkkoina valmistajien tuoteselosteissa ilmoittamia pitoisuuksia (Tiainen *et al.* 1996). Vähäfosforista kuivarehua saadaan käyttämällä vähäfosforisia kalajauhoja tai korvaamalla kalajauhoa vähäfosforisilla raaka-aineilla. (Ruohonen ja Vielma 1994, Miettinen 1993). Suurimmat fosforipitoisuudet ovat rehuissa, jotka on tarkoitettu poikasten kasvatukseen (Salo ja Sundell 1996). Rehun sisältämä typpi ja fosfori ovat konsentroituneet proteiineihin. Kala sisältää 28 % proteiiniä, josta puolestaan 14,7 % on tyypeä ja 2,3 % fosforia (Stigebrandt 1986).

Kalat tarvitsevat kasvuunsa enemmän proteiineja, mutta vähemmän energiaa kuin muut kaupallisesti tuotetut eläimet. Vaikka kala pystyy hyödyntämään proteiineja hyvin tehokkaasti, rehun proteiinipitoisuus on silti oltava korkea (Hepher 1988). Ns. PE-suhde, eli sulavan valkuaisaineen määrän suhde sulavan rehun määrään rehussa on siis tärkeä rehun hyväksikäytön kannalta. Liian korkea PE-suhde heikentää valkuaisaineen muuntotehokkuutta. Nykyisen tietämyksen mukaan kirjolohen rehun suositeltava PE-suhde on 22-24 g sulavaa valkuaisainetta/MJ sulavaa energiaa (Ruohonen ja Vielma 1994). Suolapitoisuuden kasvu lisää proteiinintarvetta (Zeitoun *et al.* 1973). Energiaa kala saa rehun proteiineista, rasvoista ja hiilihydraateista. Keskimääräiset energiapitoisuudet rehussa ovat proteiini 5,5-5,7 kcal/g, rasva 9,0-9,45 kcal/g ja hiilihydraatit 4,0-4,9 kcal/g (Persson 1987). Sulavaa energiaa tästä on proteiineissa 3,9 kcal/g, rasvassa 8,0 kcal/g ja hiilihydraateissa 1,6 kcal/g (Phillips 1969). Rehun rasvapitoisuudet ovat lisääntyneet ja hiilihydraatti- ja proteiinipitoisuudet vähentyneet viime aikoina (Ackefors ja Enell 1994), esimerkkinä taulukko 7.

Taulukko 7. Rehun ravinnepitoisuuksien kehitys Norjassa 1975-89. (a)=pellettirehua, (b)=ekstruuderilla valmistettua rehua, ©= korkeaenergistä rehua (Johnsen ja Wandsvik 1991).

	1975 (a)	1980 (a)	1984 (b)	1987 (b)	1989 ©
Rasva (%)	8	15	22	26	30
Proteiinit (%)	58	49	45	42	40
Hiilihydraatit (%)	24	20	17	6	13
Energiapitoisuus (MJ/kg)	14,8	15,3	16,6	17,6	19,2

Kuivarehujen fosforipitoisuus on vähentynyt vuoden 1975 15 g/kg:sta nykyiseen 9 g/kg:an. Saavutettavissa oleva fosforipitoisuus riippuu pitkälti siitä, kuinka suuri osa rehujen kalajauhoista voidaan korvata kasvisperäisillä valkuaisaineilla, mm. soijajauholla. Kirjolohi hyödyntää kuivarehun fosforista parhaimmillaan 40-50 % ja types-tä yli 50 %, mutta luvut ovat käytännön kasvatuksessa näitä pienempiä. Typen imeytymisen rehusta on hyvä, yli 90 %, mutta fosforin vain noin 50 % tai vähemmän. Fosforikuormituksen pienentämiseksi tulisikin kiinnittää huomiota lähinnä fosforin imeytymisen ja käyttökelpoisuuden lisäämiseen. Typpikuormituksen pienentämiseksi tulisi kiinnittää huomiota kalojen valkuaisaineenvaihduntaan sekä typen ja energian suhtee-

seen rehussa. Ravinteiden määrän optimoiminen kuormitusten kannalta eri kalanrehuissa edellyttää viljeltyjen kalojen ravintotarpeiden perusteellista tuntemusta ja huomioon ottamista (Tiainen *et al.* 1996).

2.2.4 Ruokinta ja sen optimointi

Ruokintamenetelmien ja erilaisten -järjestelmien kehittämisessä on tavoitteena käyttää optimaalinen määrä rehua ja samalla vesiä kuormittavia ravinteita lisäkasvukiloa kohti. Lisäksi rehun on sisällettävä riittävä määrä kalan tarvitsemia vitamiineja sekä hiiven- ja mineraaliaineita sekä oltava koostumussuhteiltaan kalan ruuansulatuselimistöön ja ravitsemusfysiologiaan sopeutettu. Kalojen kuluttaman rehumäärän massaa suhteessa niiden lisäkasvuun kuvataan ns. rehukertoimella (Mäkinen ja Ruukonen 1992). Kaloille annettava rehumäärä ja monet muut tekijät vaikuttavat tähän kertoi- meen, mm. rehupellettien mureneminen ja kalojen ruokkiminen aivan kylläiseksi suu- rentavat sitä (Tiainen *et al.* 1996). Kirjolohjen energiantarvetta kalan kokoon nähden on tarkasteltu taulukoissa 8 ja 9.

Taulukko 8. Kirjolohjen rehuntarve MJ sulavaa energlaa / 1 000 kg kalaa lämpötilan funktiona (Mäkinen ja Ruukonen 1992).

°C	Kalojen keskipaino g						
	500	750	1 000	1 250	1 500	1 750	2 000
2	27	23	20	19	17	16	15
4	47	40	36	33	30	29	27
6	111	101	95	90	86	83	81
8	130	119	111	106	102	98	95
10	153	140	131	125	120	115	112
12	179	164	154	146	140	136	132
14	210	192	181	172	165	159	155
16	247	226	212	202	194	187	181
18	289	265	249	237	226	219	213

Taulukko 9. Sulavan energian määrä (MJ), jonka kirjolohi tarvitsee kasvaakseen kilon (Mäkinen ja Ruukonen 1992).

Kalan paino	Energia
g	MJ/kg
500	16
1 000	19
2 000	22

Ruokinnan optimoinnissa keskeisellä sijalla ovat kalojen energiantarpeen arviointi ja odotettu kasvutulos erilaisissa ympäristöoloissa (Mäkinen ja Ruukonen 1992). Koska lämpötilan nosto nopeuttaa kalojen kasvua ja vaikuttaa rehukertoimeen, ruokinta- tarpeen arvioimiseksi on kalojen määrän ja massan lisäksi tiedettävä veden lämpötila ja happipitoisuus. On ilmeistä, että em. ehdot eivät kalanviljelylaitoksessa täyty lähes- kään aina eikä optimointiin tarvittavia energiantarve- ja kasvumalleja voida tällöin hyödyntää (Brocksen ja Bugge 1974, From ja Rasmussen 1984, Mäkinen ja Ruukonen 1992, Tiainen *et al.* 1996, Stigebrandt 1986). Lämpötilan noston 5 °C:sta 20 °C:n on arvioitu parantavan energian muuntotehokkuutta 12 % (Brocksen ja Bugge 1974) tai toisaalta vain 1,5 % (From ja Rasmussen 1984).

Rehujen kehittyessä on rehukerroin jatkuvasti laskenut. Norjassa on arvioitu rehukertoimen laskeneen vuoden 1975 3,5:stä vuoden 1996 arvoon 1,14 (Sandnes ja Ervik 1999). Kalojen koko vaikuttaa rehukertoimeen siten, että rehukerroin kasvaa kalan koon kasvaessa (Tiainen *et al.* 1996). Lankisen (1999) mukaan rehukerroin poikaskasvatuksessa on 0,9-1,0 10-20 gramman kokoon laskettuna vaihdellen sekä laitospoikastaisesti 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 (Häkanson 1995).

Ruokintamenetelmät voidaan jakaa käsiruokintaan tai muuhun manuaaliseen ruokintaan sekä erilaisilla automaateilla ajastimien, kalojen itsensä tai ATK-laitteiden ohjaamana hoidettuihin järjestelmiin. Suuri osa laitoksista käyttää nykyisin automaattiruokintaa. Kaloja ruokittaessa on tarkkailtava niiden ruokahalua: kalat voivat esim. sairauden seurauksena syödä vähemmän kuin ruokintataulukoiden mukaan ja toisaalta nälkäisinä enemmän kuin taulukossa, jolloin liika- tai ohi-ruokinnan vaara on ilmeinen. Automaateilla ruokintaa ohjaavat yksinkertaisimmillaan (pendel-automaatit) kalat itse, kellokytkimet tai erilaisia asioita huomioivat ATK-järjestelmät. Ongelmana näissä ovat mm. kalojen itsensä ohjaamien automaattien vaikea säädettävyyttä ja merenkäynnin vaikutukset niiden annostelijoihin. Lähitulevaisuudessa yleistyvät mm. veden lämpötilan ja happipitoisuuden mukaan ohjatut automaattiset ruokintajärjestelmät. Ruokintamenetelmien kehittäminen tulee vielä jatkumaan ja nopeutumaan. Monimutkaisimmat järjestelmät ovat myös huomattavan kalliita, mutta vähentyvän rehunkulutuksen ja kalojen kasvun kautta itsensä takaisin maksavia (Ruohonen ja Vielma 1994, Tiainen *et al.* 1996).

Thorpe *et al.* (1990) havaitsivat, että käsin ruokinnalla rehua jää tähteeksi 2,4 %, kun taas automaattilla ruokittaessa 40,5 %. Käsin ruokinta olisi näin ollen tehokkaampaa. Lisäksi automaatti ruokki kaloja määrällisesti 16,6 % vähemmän kuin käsinruokinnassa, joten kalat söivät 50 % vähemmän automaattilla ruokittua ruokaa. Mitä tulee rehun ja ruokinnan laatuun, vaihtelu on suurta, mikä näkyy ominaiskuormien vaihtelussa. Vaikka rehun laatu on parantunut viime vuosina, yksittäisten mittausten kuormitusarvojen vaihtelu on silti huomattavaa (Mäkinen 1991).

Kalat sopeutuvat käytettyyn ruokintatapaan, joten ei voida antaa yksiselitteisiä ohjeita siitä, kuinka monta kertaa päivästä kaloja tulisi ruokkia. Periaatteessa kaloja pitäisi ruokkia sopivan harvoin, jotta kalat saisivat rauhassa sulatella syömäänsä ravintoa eivätkä tuhlaisi energiaa ravinnon perässä uimiseen tai häiriintyisi muiden uimisesta (Ruohonen ja Vielma 1994).

2.2.5 Rehujen raaka-aineiden valmistusprosessit ja kuljetukset

Valmistusaineet keskimäärin:

	Ranne 1995	Norrgård 1999a
kalajauho	50 %	30 (30-40) %
soijatiiviste	10 %	10 (8-15) %, soija 20 %
kalaöljy	25 %	30 (25-30) %
vehnä jauho	10 %	15 (10-15) %
vesi	5 %	3-7 %

Kalarehun raaka-aineilla on oma valmistuksensa. Kalaöljy saadaan kalajauhon valmistuksen yhteydessä rasvan erotuksessa. Soija ja vehnä ovat puolestaan maanviljelys-

tuotteita. Soijatiiviste valmistetaan soijapavuista erottamalla hiilihydraatit pois. Tällöin valkuaisainepitoisuus nousee 40 %:sta 60 %:iin (Ranne 1995). Kaikki kalanrehuteollisuuden käyttämä kalaraaka-aine on ulkomaista (Ahvonen *et al.* 1997).

Silakka ja muut kalanrehuissa käytettävät kalalajit

Itämeren pääaltaan, Riianlahden, Saaristomeren ja Suomenlahden silakkakannan kutevien yksilöiden lukumäärä on kasvanut 1980-luvun alusta 30 prosentilla. Kutukannan biomassassa on kuitenkin pienentynyt ja on tällä hetkellä noin 60 % pienempi kuin vuonna 1974. Vuoden 1998 saaliskiintiö Itämerellä oli 560 000 tonnia, josta Suomen osuus 36 400 tonnia. 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 1998a).

Jos kalajauhoa korvataan Itämerestä peräisin olevalla silakalla, kierrätetään Itämeren omia ravinteita ja pienennetään näin Itämereen kohdistuvaa ravinnekuormitusta (Ruohonen ja Vielma 1994). Parmanne (1996) toteaa, että silakan ja kilohailin tehokkaalla pyynnillä on monenlaisia myönteisiä vaikutuksia Itämeren tilaan, eikä rehupyynnin lopettamiselle ole biologisia perusteita. Suurimpana esteenä silakan käytölle kirjoloihen rehuna ovat silakan liian korkeat dioksiinipitoisuudet. Proteiinia ja fosforia silakka sisältä kuiva-aineena keskimäärin kuivarehua enemmän, rasvaa taas vähemmän (Ruohonen ja Vielma 1994).

Puolet Suomen noin 1 600 ammatikseen kalastavasta ruokakunnasta tai kalastusyrityksestä kalastaa silakkaa. Yli 90 % silakasta kalastetaan troolareilla, joista vuonna 1995 kalasti silakkaa noin 150. Silakan troolikalastuksessa 15 tonnin keskisaaliin pakkaamista varten tarvitaan noin 1 000 muovilaatikkoo ja sata konttia. Muovi-laatikoihin pannaan yleensä 33 kiloa silakkaa ja jäitä päälle kymmenisen prosenttia kalan painosta. Sekä muovilaatikoiden, että konttien käyttöä voidaan arvioida olevan 10 vuotta. Malliyrittäjä kuluttaa avovesikaudella meno- ja paluumatkoilla 90 litraa, vedossa 115 litraa ja tyhjäkäynnillä 25 litraa kevyttä polttoainetta tunnissa. Avovesikaudella polttoainetta kuluu kalastusmatkaa kohden 1 740 litraa ja talvi-kaudella 2 450 litraa. Jäähdytuskustannuksista sähköstä ja vedestä aiheutuvat kustannukset ovat 25-35 markkaa tonnilta. Talvella jäiden sijasta voidaan käyttää kylmää merivettä (Pönni 1998a). Lillsunden (2000) aineistossa keskimääräinen polttoainekulutus silakan avomerikalastuksessa on kevyttä polttoöljyä 110 l/t.

Kilohailin lisääntyminen on onnistunut 1990-luvulla paria vuotta lukuun ottamatta hyvin. Kilohailikanta on kuitenkin pienenevässä, mutta se on biomassaltaan silti noin yhdeksänkertainen 1980-luvun tasoon verrattuna. Nykyisellä kalastusteholla kanta ja saaliit tulevat kuitenkin pienenevään voimakkaasti lähivuosina. Vuonna 1997 Itämerestä kalastettiin 529 000 tonnia kilohailia, mistä Suomen osuus oli noin 20 000 tonnia (Pönni 1998b).

Kalajauho ja kalaöljy

Kalajauhoa tuodaan Suomeen Tanskasta, Norjasta ja Islannista (Taulukko 10). Kuljetus tapahtuu pääosin laivoilla. Norjassa kalankasvatusta on jo niin paljon, että maa joutuu ostamaan kalajauhoa, joten tuontimäärät sieltä ovat vähentyneet (Rintaharri, 1999b). Kalajauhotehtaita on 13 ja ne valmistavat pääasiassa erikoiskala-jauhoa. Sille on yhtä tiukat vaatimukset kuin ihmisravinnoksi tuotettaessa. Tuotantoa ja raakaainemääriä valvoo ympäristöministeriö. Kuljetusmatkat ovat lyhyitä ja lähes kokonaan meriteitse, johtuen tehtaiden sijoittumisesta rannikkoalueille (Kärnä 1999b).

Taulukko 10. Kalajauhon ja kalaöljyn tuonti eri maista (Kalan ulkomaankauppa 1999, Nylander 1999, Söderkultalahti *et al.* 1997, Nylander ja Savolainen 1997).

	Kalajauho, t		Kalaöljy, t	
	1996	1999	1996	1999
Tanska	10 026	6 008	6 300	2 907
Norja	10 183	3 089		15
Islanti	15 236	5 162		0
Yht.	36 000	14 279	7 175	2927

Kalaraaka-aines voidaan erotella öljyksi ja jauhoksi monella eri tavalla, jotka noudattavat seuraavia vaiheita: kuumennetaan raaka-aine, jolloin kalassa oleva rasva vapautuu kudoksista, proteiini koaguloituu, öljy vapautuu ja vesi sitoutuu fysikaalis-kemiallisesti. Seuraavaksi öljy ja suuri osa vedestä poistetaan valuttamalla, puristamalla tai linkoamalla sentrifugilla. Puristusnesteestä erotetaan öljy ja kiinteät aineet. Kala sisältää vettä noin 80 %, josta haihdutetaan lähes kaikki, eli 750 kg kalatonna kohden. Kiinteät aineet yhdistetään vähän öljyä ja vettä sisältävän massan sekaan, massa kuivataan ja jauhetaan. Lopuksi voidaan lisätä hapetuksenestoainetta eli antioksidanttia 200-700 ppm riippuen kalaraaka-aineesta ja antioksidantista. Silliin lisätään 700 ppm BHT:tä ja 200 ppm ethoxyquinia. Suuret kalat on paloiteltava ennen käyttöä (Ruuhonen ja Vielma 1994, FAO 1986, Rintaharri 1999a, 1999b, Kärnä 1999a). Jättevettä ei kalajauhon valmistuksessa juurikaan synny, paikallinen jätevedenpuhdistamo on Tanskassa jopa kaivannut kalajauhotehtaan lämmintä vettä kylmänä aikana (Rintaharri 1999b). Kuumiin osiin vesistä käytetään tehtaan ja laitteiden pesuun. Proteiinipitoinen liimavesi kierrätetään takaisin prosessiin ja sekoitetaan kalajauhomaan, muut vedet haihdutetaan. Puhdistuksen jälkeen päästöviedet johdetaan mahdollisimman kauas merelle, ympäristöviranomaisilta saatuja ohjeita noudattaen (Kärnä, 1999b). Tyyppillisiä tietoja kalajauhon valmistusprosessista on esitetty taulukoissa 11 ja 12.

Taulukko 11. Kalajauhon ja öljyn valmistustietoja kalajauhonna kohden (Rintaharri 1999a, Kärnä 1999a)

Syötteitä	Kalaraaka-ainetta	4-5 (4,8) t
	Maakaasua tai polttoöljyä	8,9 m ³
	sähköenergiaa	8,9 kg
	Makeaa vettä	9,2 kWh
	Merivettä	64,6 m ³
Tuotteita	Kalajauhoa	1 t
	Kalaöljyä	200 kg

Makeaa vettä käytetään prosessin jäähdytykseen ja merivesi kiertää meren ja lämmönvaihtimen välillä. Lisäksi vettä käytetään hajunpoistoon, ja jonkin verran lauhduttamiseen ja väkevöintiäksikköön. Kalan jäähdyttämiseen käytetään joissain tapauksissa jäätä (Rintaharri 1999a, 1999b, Kärnä 1999a). Jokaisella tehtaalla on hajunpoisto prosessista, lisäksi syntyy pakokaasuja poltosta pesulaitteissa ja kondensaattoreissa. Kuitvaushöyryt poltetaan hajuhaittojen ehkäisemiseksi (Kärnä 1999b). Hajunpoistossa veden kulutus on 4500 l/min ja sähkön 50 kW. Raaka-aineen tuoreus vähentää ilmapäästöjä. Havaittuja hajuyhdisteitä ovat olleet mm. trimetyyliamiini, etyyliimerkaptaani ja myrkyllinen rikkivety, jotka on poistettava pakokaasuista tarvittavalla tekniikalla (FAO 1986).

Kalaraaka-aineena Tanskassa on pääosin silli, villakuore ja pikkutuulenkala (Rintaharri 1999a). Huomattava osa kalaraaka-aineesta on roskakalaa ja ylijäämäkalaa, eli ruokakalan kalastuksen sivutuotetta (Kärnä 1999b). Maailmanlaajuisesti raaka-aineen

proteiinipitoisuus vaihtelee kalalajista riippuen välillä 14-18 %, rasvapitoisuus 2-27 %, tuhka 1,4-4 % ja vesi 56,5-78 %. Sillin pitoisuudet ovat proteiini 18 %, rasva 8-11 %, tuhka 2 % ja vesi 70 %. Vesipitoisuus on verrannollinen kuivauskustannuksiin. Suurempi rasvapitoisuus johtaa suurempaan kalaöljyn saantoon ja vähentää tarvittavaa kuivausenergiaa ja lisää tuotanto-kapasiteettia. Kalajauhon saanto riippuu raaka-aineen kuiva-aine- ja rasva-pitoisuudesta ja voi olla esim. noin 22,5 %, kalaöljyn saanto taas on lähellä aineksen kokonaisrasvapitoisuutta, eli sillillä noin 10 % (FAO 1986). Kalajauhojen valkuaisainepitoisuus on 70-75 %. Eri kalalajeista tehtyjen kalajauhojen rasvapitoisuus vaihtelee 6-10 %:n välillä (Ruohonen ja Vielma 1994).

Taulukko 12. Kalajauhon ja öljyn valmistuksen tunnusomaisia kuormituksia eri kokoisilla tehtailla (FAO 1986).

Tehdaskoko t raaka- ainetta /24 h	polttoöljyä kg/t raaka-ainetta			KWh/t raaka-ainetta		Veden kulutus m ³ /t
	ei haih- duttamoa	haihduttamo	hukkalämmön talteenotolla	ei haihdut- tamo	Haihdut- tamo	
10-60	35	55	-	30	35	31,5
100-200	34	50	44	28	33	22,4
250-500	33	48	41	26	31	17,35- 19,35
>500	30	45	38	25	30	16,3

Kalajauhon valmistuksen energiaa kuluttavin osa on veden erotus (Ranne 1995). Energian käytöstä 1 tonni raaka-ainetta vaatii 43 m³ maakaasua, mikä vastaa 43 kg polttoöljyä. Lämmityslaitoksella lämmitysöljyn rikkipitoisuus on alle 1 %. Prosessilaitteiden pyörittämiseen vaaditaan 44 kWh sähköä. Höyryturbiineilla on mahdollista saada energiaa 15-60 MW. Höyryn tuotto on välttämätöntä kalaöljyn valmistusprosessissa, koska höyryä tarvitaan koneistossa, keittimissä, puristimissa, kuivaimissa ja haihduttimissa.

Kalajauho kuljetetaan satamasta irtotavarana kuorma-autoilla kierrätettävissä säkeissä ja kuljetusmatka Naantalista tai Turusta on lyhyt. Tanskasta tulee noin 90 % ja Norjasta 10 % Rehuraisio Oy:n kalajauhosta, määrät vaihtelevat vuodesta riippuen (Norrgård 1999a). Kuljetusmatkat Turun tai Naantalalin satamasta Rehuraisiolle irtotankkiautoilla satamista tehdasalueelle sijaitseviin siiloihin, 10-15 minuutissa, 30 l dieseliä tunnissa, eli 40 t raaka-aineita/10 litraa dieseliä (Mattila 1999, Norrgård 1999a).

Kalaöljyä käytetään lohikalojen rehuissa, koska siinä on runsaasti energiaa (noin 40 MJ/kg). Hyvänlaatuinen kalaöljyjen sulavuus on noin 90 %, jolloin niissä on sulavaa energiaa noin 36 MJ/kg. Kalaöljyn rasvahappokoostumus vastaa hyvin lohikalan tarpeita. Kalaöljyssä on runsaasti monitydyttymättömiä rasvahappoja, joita lohikalat tarvitsevat paljon. Kalaöljyjen rasvahappokoostumus vaihtelee kalalajin ja vuodenajan mukaan (Ruohonen ja Vielma 1994). Viime aikoina hiilihydraattien määrää on rehussa korvattu kalaöljyllä niiden edullisuuden ja valkuaisen kompensoinnin vuoksi. Näin on saatu vähennettyä typpikuormitusta (Tiainen *et al.* 1996). Monitydyttymättömät rasvat ovat alttiita hapettumiselle, jolloin kalaöljyn sulavuus heikkenee. Hapettuneen kalaöljyn käyttö rehussa pilaa koko rehuerän tuhoamalla mm. E-vitamiinia. Hapettumista hidastetaan lisäämällä öljyn valmistusvaiheessa keinotekoista antioksidanttia, mutta sekään ei estä kalaöljyä hapettumasta ajan myötä. Öljyn hapettuneisuuden astetta kuvaa peroksidiluku (Ruohonen ja Vielma 1994).

Kalaöljyn lisäksi kalanrehuissa on käytetty muita eläinrasvoja ja kasviöljyjä. (Ruohonen ja Vielma 1994). Myös perkausjäte on korkean rasvapitoisuutensa vuoksi kalaöljyä korvaava raaka-aine. Muu osa perkausjätteestä on lähinnä vettä ja valkuaisainetta. Tuhkapitoisuus on matala, joten 2 massaprosenttia muurahaishappoa riittää säilöntään. Koska jätteen rasvapitoisuus on korkea, pitää siihen ehdottomasti lisätä antioksidant-

tia. Perkausjätteessä olevat bakteerit tuhoutuvat jo muutaman vuorokauden happosäilönnän aikana, mutta IPN-virus selviytyy happosäilötyssäkin kalassa jopa vuosia. Kalojen, joissa on todettu IPN-tartunta, perkausjätettä ei tule käyttää kalojen rehuna (Ruohonen ja Vielma 1994).

Vilja

Tärkeimpiä runsaasti hiilihydraatteja sisältäviä jauhoja ovat kypsennetyt viljat ja tärkkelystä tehdyt mm. vehnästä, perunasta ja maissista. Eri raaka-aineista valmistettujen ja eri tavalla kypsennettyjen hiilihydraattien sulavuus voi vaihdella paljonkin, mikä vaikeuttaa rehusuunnittelua. Kypsennetty vehnä sisältää sulavaa energiaa noin 10 MJ/kg ja kypsennetty vehnätärkkelys noin 13 MJ/kg. Vehnäjauhossa on 10-12 % valkuaisainetta, kun sitä tärkkelyksessä on 2-4 %. Rehun PE-suhteen tasapainottamiseksi tärkkelystä tarvitaan vähemmän kuin vehnää. Kalajauhoon verrattuna vehnän valkuaisaineen sulavuus on huonompi ja aminohappokoostumus epätäydellisempi. Kuivarehuissa käytetään melko paljon kypsennettyä vehnää, koska vehnä parantaa ekstruusiomenetelmällä valmistettujen kuivarehujen fysikaalista koostumusta.

Rehurasio Oy:ssä käytettävä vilja on kotimaista silloin kun sitä on tarjolla. Kuljetukset meno-paluu-kuormina Lounais- ja Etelä-Suomesta, kuljetusmatkat noin 200 km (Norrgård 1999a). Vehnänjyviä tarvitaan kylvössä 190 kg/ha (Gravsholt 1993).

Viljan tuotannon ympäristövaikutuksista

Maatalouden ympäristövaikutukset vaihtelevat luonnollisista syistä: maaperän vaikutus aiheuttaa 8-16 %:n saantovaihteluita, erilaisia vaatimuksia kasvinsuojelu-aineiden ja lannoitteiden käytölle, ilmastolliset vaihtelut aiheuttavat n. 10 %:n saantovaihteluita varsinkin suhteessa energiaan, esim. kastelussa voidaan säästää 15 % energiasta sääolosuhteiden takia (Ranne 1995).

Lannoitustaso vehnänviljelyssä Suomessa on 130 kg N/ha, ja 18 kg P/ha. Saanto on 4500 kg/ha kuiva-ainepitoisuudella 87 %, fosforihuuhtoutuma hehtaarilta 0,9 kg P/ha (100% biologisesti aktiivista fosforia) ja typpihuuhtoutuma hehtaarilta 43 kg N/ha. Lisäksi hehtaariohtainen NH₃-N päästö on 0,5 % typpilannoitustasosta ja N₂O-N päästö 1,25 % typpilannoitustasosta (Grönroos 1999). Polttoaineiden tuotantotiedot on saatu Neste Oy:ltä ja lannoitteiden tuotantotiedot Kemira Agro Oy:ltä (Ilomäki 1999). Torjunta-aineiden valmistamisen energiankulutus on Novartis Oy:n mukaan 100 kWh sähköä/kg tehoainetta. Muita tietoja torjunta-aineista ei ole saatavilla. Lannoitteiden valmistamisen ekotasetiedoissa mukana on suuri määrä komponentteja, joiden määrä on ”mitätön”. Tärkeimmät kuormitukset ovat lannoitteiden käytöstä aiheutuneet huuhtoumat, lisäksi ilmapäästöjä syntyy lannoitteiden kuljetuksista.

Karjanlanta on tärkein lannoiteaine väkilannoitteiden jälkeen. Suomessa karjanlannan sisältämä typpimäärä vastaa puolta, fosforimäärä noin 30 % ja kaliummäärä yli 80 % peltoviljelyssä käytetystä väkilannoitemäärästä. Karjanlannan ravinteet eivät kuitenkaan ole liukoisuudeltaan väkilannoitteiden veroisia. Lisäksi karjalannan käsittelyssä ja käytössä tapahtuu ravinnehäviöitä ympäristöön sekä ravinteiden epäoptimaalinen suhde vaikeuttaa ravinteiden tasapainoista käyttöä. Näin arvioidaan lannan typen osuudeksi noin 15 %, fosforin 10 % ja kaliumin 25 % peltokasvien lannoitusmäärästä (Ranne 1995).

Soija

Soijapapujen valkuaisainepitoisuus on kasvikunnan korkeimpia ja niiden aminohappokoostumus on eläinten kannalta yksi kasvikunnan parhaista. Soijapavuihin on runsaasti rasvaa ja vastaavasti vähemmän hiilihydraatteja kuin viljoissa. Erilaiset esikäsittelymenetelmät vaikuttavat suuresti soijajauhon ravitsemukselliseen arvoon, ja eri ta-

valla käsiteltyjä soijajauhoja nimitetään eri tavoin. Joidenkin tutkimusten mukaan jo pienikin määrä (noin 10 %) soijajauhoa voi heikentää kalojen kasvua, toisaalta joidenkin tutkimusten mukaan taas kalajauho voitaisiin lähes kokonaan korvata soijajauholla (Ruohonen ja Vielma 1994).

Ilman lämpökäsittelyä soijan ravitsevuusarvo on huono: soijassa olevat haitta-aineet heikentävät ravintoaineiden imeytymistä. Haitta-aineiden määrää voidaan pienentää kypsentämällä ja uuttamalla. Esikäsitellyn soijajauhon valkuaisaineen sulavuus voi olla yhtä hyvä kuin hyvälaatuisessa kalajauhossa (noin 90 %), kun taas käsittelemättömän soijajauhon valkuaisaineen sulavuus on noin 70 %. Soijan fosforipitoisuus on matala ja fosfori huonosti sulavassa muodossa, mutta sulavuutta voidaan parantaa entsyymikäsitteilyn avulla (Ruohonen ja Vielma 1994). Suurin osa soijatuotteiden elinkaaren ympäristökuormituksista aiheutuu alkutuotannosta. Tässä vaiheessa aiheutuu yli 95 % ekotoksikologisista vaikutuksista, maankäytöstä ja vaikutuksista rehevöitymiseen. Kiinteistä jätteistä yli 90 % syntyy soijapapujen teollisesta jatkokäsittelystä (Lindeijer ja Meeusen 1998). Hyönteisten torjuntaan käytettäviä aineita ovat monocrotofos, endosulfan ja pyretriini, joista kaksi ensimmäistä ryhmä ovat organofosfori/klooriyhdisteitä ja erittäin myrkyllisiä. Nykyisin näitä tuotteita ollaan korvaamassa biologisilla tuotteilla (*Bacillus thuringensis* ja virus *Baculovirus anticarsia*) yhdessä diflubensuronin kaltaisten aineiden kanssa (Cederberg 1998).

Rehuraision käyttämät soijatuotteet tuodaan laivoilla Tanskasta, minne tuodaan taas soijapapuja suuremmilla laivoilla pääasiassa Pohjois-Amerikasta. Huomattava on, että laivoilla tuodaan muutakin, kuin soijaa (Norrgård 1999a, Kärnä 1999). Suorissa kuljetuksissa USA:sta esim. suurten järvien rannalta 25-30 milj. kg:n laivoilla Naantalin satamaan kuljetusaika on 2-3 viikkoa (Erkkilä 1999a). Maakuljetukset vaihtelevat USA:ssa 50-2 000 km:n välillä, eli erittäin paljon (Tavenius 1999). Taulukossa 13 on esitetty erilaisia tietoja soijanviljelystä Brasiliassa. Vesivoima on Brasiliassa pääasiallinen sähköenergianlähde ja polttoaine on ei-fossiilista puuta. Soijan viljelyyn käytetty pinta-ala Brasiliassa oli vuonna 1996 1 074 000 ha (Cederberg 1998).

Soijanviljelyssä päätuotteena on jauho ja sivutuotteena öljy. Massaprosentit ovat 80 ja 17 (Boulder 1985). Taloudellinen arvo on Oil World'n (1997) mukaan 69 ja 31 %. Soijarouheen valmistusprosessitietoja on kuvattu taulukossa 14.

Keskimäärin soijaa käytetään noin 13 % rehun kokonaisuudesta, puolet rouhetta ja puolet tiivistettä (Vasara 1999). Kun käytetään soijarouhetta soijanlähteenä, käytetään sitä noin 20 %, soijatiivistettä taas noin 10 % rehusta. Soijatiivisteiden valkuaisainepitoisuus on 50 % suurempi kuin rouheen. Soijarouhetta Rehuraision Oy prosessoii itse (Norrgård 1999a, Kärnä 1999), samoin kuin soijatiivistettä (Erkkilä 1999a). Suomessa käytetyn soijatiivisteiden suurin valmistaja on eurooppalainen ADM (Rintaharri 1999b).

Taulukko 13. Tietoja Brasilialaisesta soijanviljelystä ja papujen kuivauksesta (Cederberg 1998, Reusser 1994, Embrapa 1997, FAO 1992, Vis *et al.* 1992, Isik *et al.* 1989).

Saanto	1 553-2200 kg/ha
Siemeniä	300 kg/ha
monocrotofosta	112 g/ha,
endosulfania	66 g/ha
diflubensuronia	5,6 g/ha
NPK 0-20-20- lannoitetta	200 kg/ha
Typpi	15 kg/ha, 10 g/kg
Fosfori	10 kg/ha, 6 g/kg
Kalium	19 g/ha, 12 g/kg
glyfosfaattia	540 g/ha
2-4-D	750 g/ha
Typpihuuhtouma	49 kg/ha
Fosforihäviö	1,1 kg/ha
Energiankulutus viljelyssä	1 795 MJ/ha, tai 60 l/ha dieseliä
energiaa soijapapujen kuivaukseen	0,474 MJ/kg, 1,16 MJ/kg
Energiajakauma	88 % lämpöä, 12 % sähköä

Taulukko 14. Soijarouheen valmistustietoja Sinisalo 1999, Cederberg 1998).

Tuote	soijarouhetta 1,00 t soijaöljyä 0,21 t
Syötteitä	soijapapuja 1,25 t heksaania 0,25-0,9 kg lämpöenergiaa 1216- 1392 MJ höyryä (11 bar, 3,745 MJ/kg) 350-395 kg sähköenergiaa 50-57,5 kWh prosessivettä 0,31 m ³
Ympäristökuormituksia	heksaania 0,2-0,8 kg kompostoitavaa jätettä 20 kg muuta jätettä 1 kg jätevettä 0,43 m ³

Muita jauhoja

Soijan lisäksi lohikalojen rehuissa on käytetty mm. puuvillasta, rypsiskasveista, vehnänalkioista ja maissista valmistettuja jauhoja. Nämä sisältävät kohtuullisen paljon (noin 50 %) valkuaisainetta, mutta niiden puutteena on epätäydellinen aminohappokoostumus sekä mahdolliset haitta-aineet. Lisäksi niiden mukana rehuun tulee sulamattomia hiilihydraatteja. Maissigluteenia käytetään yleisesti pohjoisamerikkalaisissa kuivarehuissa. Verijauhon valkuaisainepitoisuus on korkea, noin 85 %, mutta sulavuus kalajauhoa huonompi, eli 60-70 %. Aminohappokoostumus on kirjolohen kannalta puutteellinen. Verijauhon lisäksi kuivarehuissa on käytetty muita eläinkunnan sivutuotteita kuten liha- ja luujauhoa sekä höyhenjauhoa (Ruohonen ja Vielma 1994), joista nyttemmin on tiettävästi luovuttu suomalaisessa kalanrehun tuotannossa.

Lisäaineet

Vitamiinit ja hivenaineet

Vitamiineja voidaan ostaa joko erillisinä tai valmiina sekoituksina. Kalankasvattaja tietää harvoin raaka-aineidensa vitamiinipitoisuuden eikä juuri voi korjata itse valmistamansa rehun vitamiinipitoisuutta erillisiä vitamiineja lisäämällä. Vitamiiniseos edustaa 1,5-2 %:a rehun raaka-aineista (Norrgård 1999b).

Väriaineet

Suomessa valmistetuissa tai Suomeen tuoduissa rehuissa käytetään väriaineena astaksantiinia. Norrgård (1999a) mainitsee rehun sisältämän astaksantiinin määrän olevan merkityksetön kirjolohenkasvatuksen elinkaaritarkastelun kannalta.

Sideaineet

Sideaineiden avulla parannetaan rehupellettien fysikaalisia ominaisuuksia, lähinnä kestävyyttä. Sideaineet parantavat rehutaikinan sitkoa jo melko pieninä pitoisuuksina, mutta niillä on harvoin ravitsemuksellista arvoa, eivätkä ne yleensä imeydy kalan elimistöön. Poikkeuksena ovat kypsennetyt tärkkelykset, jotka parantavat rehutaikinan sitkoa ja sisältävät samalla sulavaa energiaa. Sideaineita saadaan pavuista, merileivistä, puusta, viljelykasveista ja niitä voidaan tuottaa mikrobiologisesti. Sideaine voi olla myös usean eri sideaineen seos (Ruohonen ja Vielma 1994).

Saman sidontavaikutuksen saamiseksi eri sideaineita tarvitaan erilaisia määriä. Sideainepitoisuutta lisättäessä ravintoaineiden sulavuus kuitenkin heikkenee, mikä taas vaikuttaa tuotantotalouteen ja ympäristökuormitukseen. Sideaineiden vaikutusta pehmeäraarehun sitkoon ja ravintoaineiden sulavuuteen on tutkittu Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksessa (Ruohonen ja Vielma 1994).

Säilytys ja varastointi

Raaka-aineita joudutaan säilyttämään myös kalanviljelylaitoksen omissa tiloissa. Kaikki raaka-aineet muuttuvat ravitsemuksellisesti huonommiksi varastoinnin aikana. Silakka pilaantuu raaka-aineista helpoimmin, mutta myös kuivat raaka-aineet ja öljy voivat pilaantua huonon tai liian pitkän varastoinnin aikana. Huolellisen varastoinnin avulla muutoksia voidaan hidastaa. Kylmävarastointi (0-+4 °C) sopii silakan lyhytaikaiseen, muutaman vuorokauden pituiseen varastointiin. Jos lämpötila on 0- +5 °C, lämpötilan lasku 3 °C:lla kaksinkertaistaa kalan säilyvyysajan. Jos kalaa halutaan säilyttää yli 10 vrk, niin kala pitää pakastaa tai säilöä hapolla. Muurahaishappoa tarvitaan silakan säilöntään noin 2,5 % säilöttävästä kalamassasta. Kuivia raaka-aineita tulee säilyttää kuivassa, varjoisassa ja viileässä paikassa.

2.2.6 Valmistusprosessi

Kuivarehun valmistuksen päävaiheita ovat: raaka-aineiden jauhatus, kypsennys, kuivaus, seulonta ja pakkaus. Kirjolohen rehuntuotanto muodostaa suurimman osan energiankulutuksen kokonaiskertymästä 21,5 MJ/kg. Kalanviljelylaitoksen ja siihen liittyvän jäähdetylaitoksen osuus energiakertymästä on 17 %. Kaupan ja kuljetusten osuus on 14 % (Ranne 1995). Ekstruusiossa, joka on rehun valmistusprosessin energiaa kulluttavin vaihe, rehumassan lämpötila on 125-155 °C, kun se puristetaan 5-7 kp/cm² paineessa ekstruusiolaitteistossa pelleteiksi (Persson 1987). Maatilaruhujen valmistuksessa ei käytetä ekstruusiotia, joten energiaa kuluu vähemmän (Mattila 1999).

Taulukko 15. Rehuraisio Oy:n rehunvalmistusprosessin ympäristökuormituksia (Mattila 1999).

	Sekoitus ym.	Ekstruusio, kuivaus, pakkaus	Yhteensä
Sähköenergia	72 kWh/t	221 kWh/t	292 kWh/t
Lämpöenergia	0,33 GJ/t	2,82 GJ/t	3,15 GJ/t
Vettä	20 kg/t	120 kg/t	280 kg/t
Pölyä ilmaan			400 g/t
Ongelmajätteet			65 g/t
Kompostoitavat jätteet			5,7 kg/t
Kiinteät jätteet yht.			11,2 kg/t

Rehuraisio Oy:n rehunvalmistusprosessissa raaka-aineet varastoidaan siloihin, sekoitetaan, pelletoidaan, käsitellään ekstruuderilla ja kuivataan. Huomattava osa energiasta kuluu kuivatuksessa, missä ainesta pidetään tunti 100°C:ssa. Konttoritilat ym. kuluttavat lämpöä 1 kWh/t. Höyry ostetaan IVO:lta Naantalın kivihiihilaitokselta. Määrä vastaa 150 kg kivihiihtä, olettaen että 1 kg kivihiihtä vastaa 7,1 kWh:a. Lauhde höyrystää palautetaan IVO:lle. Prosessivedet haihtuvat, jäähtyäkseen menevä 120 kg/t päätyy jätevedeksi, missä haitallisten aineiden pitoisuudet ovat lähellä nollaa. Lisäksi jätevesiksi päätyy jonkin verran pesuvesiä, määrät kuitenkin mitättömiä. Vedenkulutuksen luvut on arvioitu olettaen, että veden peruskulutus on sama kuin muillakin rehuseoksilla. Trukit kuluttavat nestekaasua 0,11 kg/t. Ilmapäästöjä jää pölysuodattimen jälkeen 10 mg/m³ prosessi-ilmaa, lisäksi jonkin verran hajuyhdisteitä, joiden pitoisuudet eivät ole tiedossa. Lisäksi ilmapäästöt sisältävät vesihöyryä. Ongelmajätteiden määrä vastaa Rehuraisio Oy:n keskimääräistä tuotantoa koostuen pääasiassa loisteputkista tms. (Mattila 1999).

2.3 Lääkitys

Kalatautien ehkäisyyn tarvittavia toimenpiteitä ovat mm. desinfiointi, antibioottilääkitys ja taudinaiheuttajien leviämisen ehkäisy. Useimmat desinfiointimenetelmät perustuvat kemialliseen vaikutukseen. Desinfiointiaineena on käytetty mm. natriumhypokloriittia. Laitoksilla käytetyt liuosvahvuudet ovat vaihdelleet riippuen vaikutusajasta välillä 200-2000 ppm. Kaupallisia valmisteita ovat mm. kloriitti forte-tuotteet (Farnos ja P3-Hypochloran (Henkel)). Työsuojelullisesti harvinttomimpia ovat kvaternääriset ammoniumyhdisteet. Kaupallisessa käytössä olevia tuotteita ovat mm. Sterilan (Medica), Germa-Cert (Certified Laboratories), Everbrite (National Chemsearch), P3-triquart (Henkel), Ipasept ja Amisept (Farnos). Myös jodoforit ovat tehokkaita bakteereja ja viruksia vastaan, mutta haittapuolina verrattuna natriumhypokloriittiin ovat aktiivisuuden nopeampi aleneminen ja korkeampi hinta. Tuotteita ovat mm. Buffodine (Evans Vanodine), Aktomar K ja Wescodyne (Ciba Geigy) sekä P3-jodacid (Henkel). Jodoforeja käytetään kalanviljelyssä lähinnä mädin desinfiointiin. Muita desinfiointiaineita ovat mm. natriumhydroksidi, etanoli, formaliini, fenolit ja vetyperoksidipohjaiset valmisteet, joista formaliinin ja fenoleiden käyttö ei ole nykyään suositeltavaa. Altaiden tulovesi voidaan desinfioida mm. UV-säteilyllä, otsonilla tai kloorilla, mutta toimenpide lienee harvoin taloudellisesti kannattavaa. Kalankuljetustankit ja -auto tulisi pestä ja desinfioida huolellisesti ennenkuin siirrytään kalanviljelylaitokselta toiselle (Erkamo 1992, Heinimaa 1992).

Huuhteluedet imeytetään maahan tai kemikaalikaivoon. Mädin vesihomeen torjuntaan on käytetty perinteisesti malakiittivihreää, kylvyn pitoisuus on ollut 1:300 000 puolen tunnin ajan. Malakiittivihreän käyttö kielletään vuodesta 2001 lähtien. Muita käytettyjä kemikaaleja ovat suola ja Sterilan (Jäppinen 1992). Annostuksista 8 litraan mätää tarvitaan 100 ml Buffodinea tai Betadinea tai vastaavasti 10 l Eufilaviiniä. Yleisimmät Suomessa käytössä olevat nukutusaineet ovat MS-222, bentsocain ja 2-

phenoxy-etanol, joka on vaihtoehtoista halvin, annostus 0,4 ml/l. Tarvittava pitoisuus sille on 50-150 mg/l (Eskelinen 1992).

Kaloja rokotetaan Suomessa bakteerien aiheuttamia furunkuloosia ja fibrioosia vastaan. Rokotteet annetaan joko injektio-, tai upotusmenetelmillä. Injektio-menetelmässä rokoteannos annetaan pistoksena kalan vatsaonteloon, upotus-menetelmässä kalat taas upotetaan lyhyeksi ajaksi rokoteliuokseen. Injektio on em. tavoista tehokkain (Vinithanthat *et al.* 1999). Rokotteiden määrät ovat olleet viime aikoina kasvussa (Rimaila-Pärnänen, 1999). Ne ovat ympäristölle ehdottomasti parempi vaihtoehto kuin antibioottien käyttö, koska rokotteiden komponentit eivät aiheuta jäämäongelmia (kalatuotteet ja ympäristö), eivätkä taudinaiheuttajien resistenssiongelmaa, koska rokotteet vain stimuloivat kalojen omaa aktiivista immuniteettia (Nevalainen 1999). Rokotteita käytetään Lankisen (1999) mukaan 1-2 litraa/10 000 poikasta eli 0,1-0,2 ml/kala. Suomessa käytettiin vuonna 1998 vibrioosi- rokotteita 616 litraa ja furunkuloosirokotteita 886,5 litraa.

Antibioottilääkkeistä on käytetty lääkerohuuihin ainakin oksitetrasykliiniä, oksoliinihappoa ja sulfatrimetopriiniä. Annokset 10 vrk:n käsittelyssä ovat OK 75 mg/kg kalaa vrk, OXO 30 mg/kg kalaa vrk ja STMPR 10 mg/kg kalaa vrk (Heinimaa 1992, Wennerström 1999). Lääkejäämät on teoriassa mahdollista poistaa lähtevästä vedestä suodattamalla (Midlen ja Redding 1998). Mätiin, poikasiin ja kylvetyksiin käytetään formaliinia, malakiittivihreää, suolaa ja jodia (Wennerström 1999). Antibiootteja käytetään tarvittaessa ja niiden käytöstä määräävät eläinlääkärit. Käytetystä kalanrehusta lääkerohua oli vuonna 1998 Kasvintuotannon Tarkastuskeskuksen mukaan 102 tonnia, josta aktiivisen aineen määrä oli 385,7 kg eli 24 g/t tuotettua kalaa (Rankanen 1999). Lisäksi kasvattajat sekoittivat itse antibiootteja eläinlääkärin määräyksen mukaan rehuun arviolta 100-150 kg aktiivista ainesta. Tällöin antibiootteja käytettäisiin kaikkiaan vuodessa 500-550 kg (Parviainen 1999). Suurin osa Suomessa käytetystä lääkerohusta on valmistettu kotimaassa. Ulkomailta ei lääkerohua juurikaan tuoda, vaan lääkerohun tuottaa Rehuraisio Oy. Kasvattajat sekoittavat lääkkeitä itse 10-20 % (Parviainen, 1999). Jakauma eri aineiden kesken on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Lääkerohujen sisältämien antibioottien käyttömääriä aktiivisena Suomessa vuonna 1998 Kasvintuotannon Tarkastuskeskuksen mukaan (Remes 1999).

antibiootti	kg	g/t kalaa
oksoliinihappo	16,0	1,0
oksitetrasykliini	215,3	13,6
sulfadiatsiini	126,2	7,95
trimetopriimi	27,2	1,71

Sairaiden kalojen ruokahalu on heikko ja on arvioitu, että vain 20-30 % annetusta lääkerohusta imeytyy suolistosta kalan vähentyneen ruokahalun ja lääkerohun 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 1999a). Antibioottien käyttömäärät ovat rokotusten myötä jatkuvasti vähentyneet, erityisesti oksoliinihapon käyttö on vähentynyt, mutta oksitetrasykliinin merkitys on kasvanut (Orakoski, 1999).

Kala on puhdas elintarvike. Eläinlääkintä- ja elintarvikelaitoksen tutkimusten mukaan kasvatetussa kalassa ei ollut vuonna 1998 havaittavissa lääkete- tai torjunta-ainejäämiä, eikä myöskään raskasmetalleja tai kiellettyjä kasvunestäjiä. Kuitenkin maanparannusaineena tai kalanrehuna käytettävä kuolleita kaloja ja kalan perkuujätteitä sisältävä seos saattaa sisältää antibioottijäämiä useita kuukausia antibioottilääkityksen loppumi-

sesta. Nykyisin käytössä olevien aineiden toksiset vaikutukset merieliöstöön näyttävät olevan pienet. Monet ainekset eivät hajoa helposti ja akkumuloituvat tästä johtuen sedimenttikerrokseen siellä, missä veden vaihtuvuus on vähäinen (Ervik *et al.* 1993). Seurauksena oksitetrazykliinin akkumuloitumisesta sedimenttiin on havaittu vaikutuksia mikroflooraan siten, että rikkivedyn muodostus on lisääntynyt 10-100 kertaiseksi. Oksitetrazykliinin puoliintumisaika sedimentissä on 10 vuotta, eli aine on suhteellisen stabiili (Jacobsen ja Bergling 1988), mutta suomalaisen tutkimuksen mukaan 9-419 päivää. Puoliintumisaikaan vaikuttaa virtausnopeus (Björklund *et al.* 1990). Lisäksi oksitetrazykliinipitoisuuksiin sedimentissä vaikuttaa oksitetrazykliinin määrä ja sedimenttiin joutuva osuus sekä se pohjan pinta-ala ja syvyys, johon oksitetrazykliini on kertynyt. Selvää korrelaatiota ei ole osoitettavissa kalanviljelyssä käytetyillä antibiooteilla ja lääkejäämien esiintymisellä sedimentissä. Pitoisuudet ovat vaihdelleet riippuen ilmeisesti tutkimusolosuhteista ja menetelmistä: yleensä alle 10 µg/g, muuta eräissä tutkimuksissa jopa 185-285 µg/g. Sedimentistä todettujen lääkeainejäämien esiintyminen on paikallinen ilmiö. Oksitetrazykliiniä kertyy pienemmälle alalle kuin altaan kokonaisala on. Antibiootteja sisältävien lääkerehujen käyttö saattaa aiheuttaa antibiooteille vastustuskykyisten bakteerikantojen lisääntymistä kalankasvatustiluksilla ja synnyttää antibioottiresistanssia mm. simpukoille, äyriäisille ja luonnonkaloille (Wihlman 1999b). Tutkimuksissa on myös mitattu lääkejäämiä kasvattamoiden ympäriltä luonnonkaloista (Mäkelä 1999, Remes 1999).

2.3.1 Valmistusprosessi

Antibioottien valmistusprosessi ei liene ympäristökuormitusten kannalta merkittävä (Orakoski 1999). Tiedot lääkkeiden valmistusprosesseista ovat yleensä luottamuksellisia, joten niitä ei pystytä käsittelemään tämän tutkimuksen piirissä.

2.3.2 Raaka-aineet

Lääkkeiden koostumustiedot ovat useimmiten liikesalaisuuksia, joten tietoja niistä ei ole käytettävissä.

3. Kulutuksen jakaantuminen

Kalan ja kalatuotteiden kokonaistarjonta vaihteli vuosina 1980-1996 250 000 tonnista 540 000 tonniin. Vuonna 1996 kalan ja kalatuotteiden kokonaistarjonta oli 318 000 tonnia. Kolmasosa kalan kokonaistarjonnasta Suomessa käytetään ihmisravinnoksi. Tästä 15 % oli vuonna 1996 peräisin kalanviljelystä, 32 % vapaa-ajankalastuksesta, 24 % ammattikalastuksesta ja 29 % tuonnista. Vuoden 1996 kulutuksesta 115 miljoonaa kg oli kirjolohen osuus 17 miljoonaa kiloa ja tuontilohen osuus 4 miljoonaa kiloa (Söderkultalahti *et al.* 1997). Erilaisten jalosteiden myyntimääriä Suomessa on esitetty taulukossa 17. Vuonna 1994 kalapakasteiden tuonnin ja kulutuksen yhteismäärä oli 9 984 t (Elintarviketeollisuusliitto 1994, 1995).

Taulukko 17. Kalaeinesten, säilykkeiden ja kotimaisten kalapakasteiden myynti Suomessa 1989-94 (Elintarviketeollisuusliitto 1994, 1995).

	Kalaeinekset, t	Säilykkeet, t	Kotim. kalapakasteet, t
1989	503	1 455	1 175
1990	405	1 409	1 101
1991	368	1 217	771
1992	462	1 021	699
1993	555	792	692
1994	518		

3.1 Kalan kulutus Suomessa

Vuosina 1985-1996 suomalainen kalankulutus vaihteli 12,6-14,5 kilon välillä henkeä kohti fileeksi laskettuna, eli perkaamattomana kalana reilu 27 kiloa. Viljellyn kalan käyttö oli fileenä laskettuna 0,9-2,1 kiloa henkeä kohti vuosina 1985-1996. Suomalaiset söivät vuonna 1996 eri kalatuotteista eniten kirjolohta. Kulutus nousi 1985-1996 kaksinkertaiseksi (Söderkultalahti *et al.* 1997).

Kotitalouksien tärkeimmät tuoreen kalan ostopaikat ovat valintamyymälät, tavaratalot ja supermarketit. Lisäksi kalaa voi ostaa erikoisliikkeistä, kuten kauppahalleista, toreilta ja kalakaupoista. Kotitalouksien kalan käytössä arvioitiin kirjolohen osuudeksi vuonna 1990 14,7-15,4 milj. kg, silakan osuudeksi 13,5-15,0 milj. kg ja lohen 3,0-3,6 milj. kg (Honkanen ja Setälä 1997).

3.2 Suurtalouskeittiöt

Suurtaloudet käyttivät vuonna 1994 noin 11 miljoonaa kiloa kalaa, josta kotimaisen kalan osuus oli 6,4 miljoonaa kiloa. Kirjolohen osuus tästä oli 43 %, siis noin 3 miljoonaa kiloa, vuoden 1990 arviossa 4,1 milj. kg. Saman arvion silakan kulutus on 4,8 milj. kg ja lohen 0,2 milj. kg. Suurkeittiöiden tärkein kotimaisen tuorekalan lähde on kalatukku. Puolet suurtalouksista pitää kotimaisen tuoreen kalan saatavuutta hyvä-

nä tai erinomaisena, laatua pidetään yleisesti ottaen hyvänä (Honkanen ja Setälä 1997).

3.3 Vienti

Viennin määrä vaihteli vuosina 1980-1994 noin 2 000-8 000 tonnin välillä ja viennin arvo 50-150 miljoonan markan välillä. Sen jälkeisinä vuosina vientimäärät ovat ylittäneet 10 000 tonnia, huippuna vuoden 1999 22 000 tonnia, jonka arvo oli yhteensä 119 miljoonaa markkaa. Vientituotteita olivat mm. silakka, kirjolohi ja kirjolohen mäti. Kirjolohen ja sen mädin osuus viennistä vuonna 1999 oli 1,9 miljoonaa kiloa. Kalapakasteita vietiin vuonna 1999 187 tonnia, josta kirjolohta 163 tonnia, suolattua, kuivattua ja savustettua kalaa taas 80 tonnia, josta 41 tonnia kirjolohta (Söderkultalahti *et al.* 1997, Kalan ulkomaankauppa 1999).

3.4 Muu käyttö

Kaksi kolmasosaa kalan kokonaistarjonnasta käytetään Suomessa muihin tarkoituksiin kuin ihmisravinnoksi. Siitä määrällisesti suurin osa päätyy eläinten rehuksi. Jonkin verran kalaa käytetään myös maanparannusaineena. Silakkasaaliista käytetään eläinten rehuksi vuosittain noin 70-80 %. Lisäksi kuore- ja särkeä sisältävä päätyy lähes kokonaisuudessaan rehukäyttöön, samoin viimeisen kahden vuoden aikana kilohailit. Suomeen tuodaan lisäksi kalajauhoa ja kalajätettä eläinten rehuksi (Nylander ja Savolainen 1997).

Ammattimaisen kalastuksen rehuksi käytetty saalis samoin kuin maahan tuotu kalajäte käytetään lähes kokonaisuudessaan turkistarhoilla. Lisäksi turkistarhoilla käytetään kotimaista kalanperkausjätettä. Vuonna 1996 turkistarhat käyttivät Suomen Turkiseläinten Kasvattajain liitto ry:n mukaan noin 430 miljoonaa kiloa rehua. Kalan, pääasiassa silakan, osuus rehusta oli n. 22 % (95 milj. kiloa) ja kalajätteen noin 8 % (34 milj. kiloa.) Osa rehukulutuksesta on siten jäänyt tilastoimatta Suomen Turkiseläinten Kasvattajaliitto ry:n kulutuslukuihin, koska pelkästään rehuksi kalastetun silakan määrä vuonna 1996 oli 65-75 milj. kiloa (Nylander ja Savolainen 1997).

3.5 Kala ihmisravintona

Kalat ja niistä valmistettavat tuotteet kuuluvat elintarvikelain (asetus kalasta ja kala-valmisteista) ja kalahygienialain piiriin. Lait kattavat tuotanto-, käsittely-, varastointi- ja kuljetusvaiheet sekä vähittäis- ja tukkumyynin. Niissä on myös säädökset kalalle ja kalatuotteille asetettavista elintarvikehygieenisistä vaatimuksista (Tiainen *et al.* 1996).

Kalaa pidetään ravitsemuksellisesti arvokkaana sen sisältämien pitkäketjuisten rasvahappojen vuoksi. Kalan omega-3-sarjan monityydyttymättömiä rasvahappoja ei esiinny muissa elintarvikkeissa. Kala sisältää runsaasti myös A-, D- ja E-vitamiineja sekä B-ryhmän vitamiineista tiamiinia, riboflaviinia ja pyridoksaania. Kala sisältää myös kivennäisaineita, erityisesti kalsiumia, rautaa, fosforia, magnesiumia ja kuparia (Rastas *et al.* 1996). Elintarvikeviraston (1992) tutkimuksen mukaan kirjolohen A-vitamiinipitoisuus on 23,8 (1-57) µg/kg, D-vitamiinipitoisuus 9,0 (2-13) µg/kg, rasvapitoisuus 8,8-17,8 %, koostumukseltaan tyydyttyneet rasvahapot 24,1 %, monoeneit 44,9 %, polyeenit 22,9 %, omega-3 rasvahapot 18,9 % ja omega-6 rasvahapot 4,0 %. Kirjolohen jodipitoisuus vaihteli välillä 10-28 µg/kg nahatonta filettä, mikä on vähemmän kuin esim. siian (20 µg/kg), muikun (25 µg/kg) ja lohen (65 µg/kg) jodipitoisuus. Valtaosa kuluttajista pitää tuoreen kalan saatavuutta hyvänä tai erinomaisena,

suurin osa myöskin kalan laatua hyvänä ja kalaruokaa terveellisempänä kuin liharuokaa (Honkanen ja Setälä 1997).

Saynorin ja Ryanin (1991) eskimotutkimus on osoittanut, että kalaravinto ehkäisee sydäninfarktivaaraa, laskee verenpainetta ja veren kolesterolipitoisuutta. Koska sydän- ja verisuonitaudit ovat Suomessa yleisiä, voidaan olettaa, että elintarvikkeen myönteiset terveysvaikutukset ja sairautta ehkäisevät vaikutukset ohjaavat kuluttajien laatuksiksi ja ostopäätöksiä (Juvankoski *et al.* 1998).

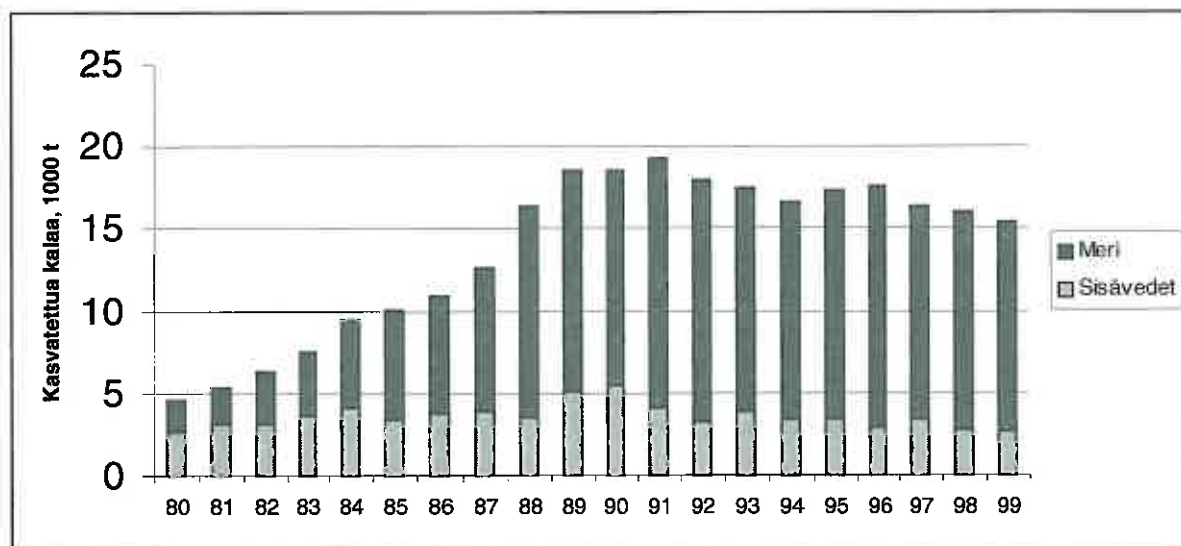
Ihmiselle haitallisista aineista suomalaisten ravinnon kautta saadusta elohopeasta 59 % on peräisin kalatuotteista (Alfthan *et al.* 1994) ja esim. hauen luonnollisen elohopeapitoisuuden on arveltu olevan 0,05-0,2 mg/kg (Verta ja Rekolainen 1994). Suomessa hedelmällisessä iässä olevien naisten altistuminen kalaperäiselle elohopealle on vähäistä: hiusten elohopeapitoisuus oli vähintään kerran päivässä kalaa syöneillä henkilöillä 40 % suurempi kuin normaalisti. Suurin arvo, 0,61 mg/kg, oli 6,3 kertaa suurempi kuin keskimäärin, mutta kuitenkin lähes 10 kertaa pienempi kuin WHO:n (1976, 1990) viikkoannosrajan pitkäaikaisesta altistuksesta seuraava pitoisuustaso 6 mg/kg. Iän ja hiusten elohopeapitoisuuden välillä ei ollut yhteyksiä (Alfthan *et al.* 1994). Kirjolohi sisältää elohopeaa 0,03-0,05 mg/kg (Elintarvikevirasto 1992).

Mustaniemi *et al.* (1994) ovat arvioineet, että kalan osuus ihmisten päivittäisestä lyijyn saannista on noin 19 %. Lihan lyijypitoisuus on keskimäärin pienempi. Lohesta on mitattu jopa 220 µg/kg lyijypitoisuus. Kirjoloheen lyijypitoisuudeksi on arvioitu 140 µg/kg (Vuorinen *et al.* 1993). Mustaniemi *et al.* (1994) mainitsevat kalan keskimääräiseksi lyijypitoisuudeksi 98 µg/kg, mutta toteavat kuitenkin, että kotimaisten elintarvikkeiden lyijypitoisuudet ovat pieniä ja suomalaisten altistuminen lyijylle vähäistä.

Kalasta on peräisin 5 % ravinnon kautta saatavasta kadmiumista. Kirjoloheen kadmiumpitoisuus ei ylitä 2 µg/kg (Elintarvikevirasto 1992). Suomalaisten saamista dioksiineista 66 % on peräisin kalasta. Hallikaisen (2000) mukaan kirjoloheen dioksiinipitoisuus on tuorepainoa kohti 0,738 pg/g I-TEQ ja rasvassa 8,9 pg/g I-TEQ. (Vartianen ja Hallikainen 1995). Kirjoloheen DDT-pitoisuus vaihtelee sen mukaan, minkälaisella rehulla se on ruokittu: kuivarehulla ruokitun kirjoloheen DDT-pitoisuudeksi on mitattu 20 µg/kg, kuivarehulla ja silakalla ruokitulle taas 65 µg/kg (Vuorinen *et al.* 1993). Luonnonkalasta on raportoitu kymmenen kertaa suurempia DDT-pitoisuuksia kuin kirjolohelta (Elintarvikevirasto 1992). PCB-pitoisuudet ovat kirjolohella Hallikaisen (2000) mukaan 1,48 pgTEQ/g tuorepainoa ja rasvassa 16,93 pgTEQ/kg.

3.6 Kotimainen tuotanto

Tilaston osoittama kirjoloheen tuotantomäärä kasvoi voimakkaasti koko 1980-luvun. Suurinta tuotanto oli vuonna 1991, jolloin tuotettiin noin 19,1 milj. kg kirjolohta. Sen jälkeen tuotanto on laskenut nykyiseen 15,9 milj. kiloon vuonna 1998 (kuva 2). Ruokakalasta noin 80 % kasvatetaan merilaitoksissa ja noin 20 % sisävesilaitoksissa. Valtaosa, noin 60 % ruokakalantuotannosta on keskittynyt Ahvenanmaan ja Saaristomeren alueelle (Savolainen *et al.* 1998, Kalanviljely 1999).



Kuva 2. Viljellyn ruokakalan tuotanto Suomessa 1994-99.

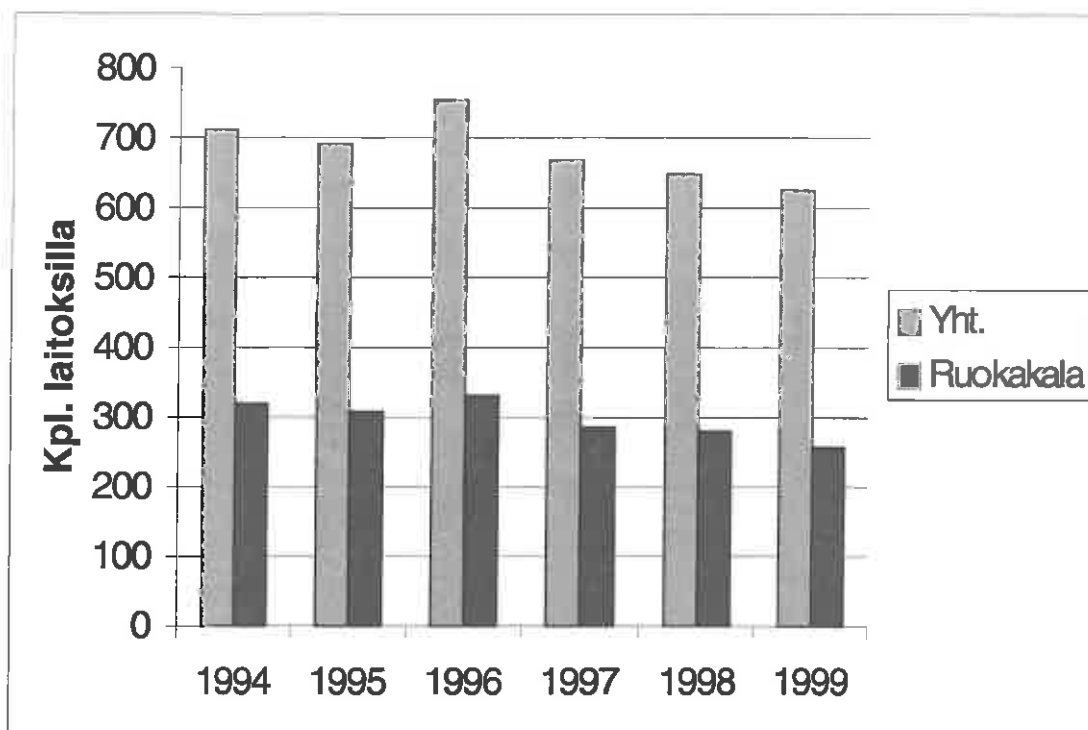
Taulukossa 18 on esitetty verkkokassilaitosten tilavuus ja pinta-ala Suomessa sisävesillä ja merialueilla. Verkkoaltaiden yhteistilavuus merialueilla oli vuonna 1998 1 116 000 m³ ja sisävesillä 98 000 m³. Maa-altaiden pinta-ala merellä 29 000 m² ja sisävesillä 697 000 m². Keinoaltaiden pinta-ala 2 000 m² ja sisävesillä 63 000 m². Luonnonravintolammikoiden pinta-ala 8 251 m² (Kalanviljely 1999).

Taulukko 18. Verkkokassilaitosten tilavuus ja pinta-ala Suomessa sisävesillä ja merialueilla (Kalanviljely 1999).

	Sisävesi	Meri
Tilavuus, m ³	489 000 (31,1 %)*	1 081 000 (68,9 %)
Pinta-ala, m ²	27 000 (3,9 %)	673 000 (96,1%)

* sisältää aitauksia

Taulukoissa 19 ja kuvassa 2 on esitetty toiminnassa olevien erilaisten ruokakalalaitosten ja kalanviljelylaitosten määriä vuosina 1995-99 sisävesillä, merialueilla ja koko maassa. Laitosten lukumäärän nousu vuonna 1996 selittyy kyseisenä vuonna säädetyistä rekisteröitymisvelvoitteista (Savolainen *et al.* 1998).



Kuva 3. Kalankasvattamoiden ja ruokakalalaitosten määrät 1994-99 (Kalanviljely 1994-99).

Taulukko 19. Toiminnassa olleiden kalanviljelylaitosten lukumäärä merialueilla, sisävesillä ja koko maassa 1998 ja 1999 (Kalanviljely 1998 ja 1999).

	Meri		Sisävesi		Yhteensä	
	1998	1999	1998	1999	1998	1999
Laitoksia yht.	204	191	446	436	650	627
Ruokakalalaitokset	190	175	91	82	281	257
Poikaslaitokset	39	28	112	115	151	143
Luonnonravintoviljelijät			324	312	324	312

3.6.1 Virallinen tilasto

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos kerää tuotantotiedot kaikilta viljelijöiltä postikyselyllä. Jokaisen erillisen tuotantoyksikön ja viljelmän tietoja kysytään erikseen. Kalanviljelytilasto on koko maan kattava, viljelijöiden ilmoituksiin perustuva tilasto kalanviljelytuotannosta. Vesiviljelyn tilastointi on ollut EU:n säätämä velvoite vuodesta 1996 alkaen. (EY asetus 788/96). Ruokakalan tuotanto ilmoitetaan joko perattuna tai perkaamattomana kalana. Perattu kala muutetaan tuotantoarviossa perkaamattomaksi kalaksi käyttäen kerrointa 1,20. Ruokakalantuotanto sisältää myös onkilammikoihin toimitetun kalan. Viljelijät ilmoittavat poikastuotannon yleensä kappaleina, mutta joskus myös kiloina. Kiloina ilmoitetut kalamäärät on muutettu tilastoa varten kappaleiksi käyttäen kyseisen lajin ja kokoluokan vastauksista laskettua keskipainoa (Savolainen *et al.* 1998).

Kalanviljelyn tuotantotilaston luotettavuus koostuu käytännössä pääasiassa kolmesta tekijästä, joita ovat vastauskato, vastauskadon tilastollinen käsittely eli tulosten esti-

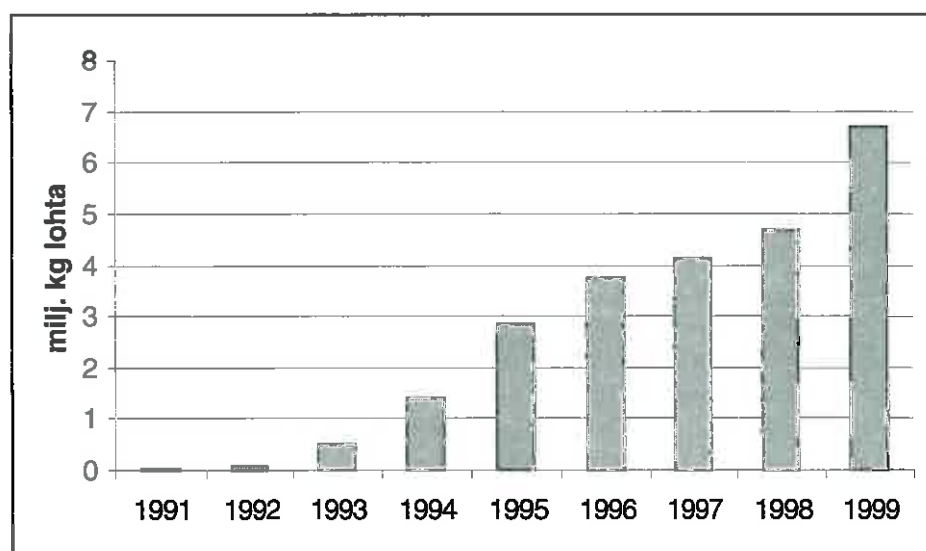
mointi sekä mittausvirheet. Kyselyssä lähetetään noin 800 kyselylomaketta, joista palautetaan noin 75 %. Vastanneiden osuus vaihtelee sekä alueellisesti että tuotanto-suunnittain 25-100 %:n välillä. Vastaukset on suurin murtoveden ruokakalatuotannossa. Kadon huomioimiseksi murtovesilaitokset ositettiin jälkikäteen sijaintiläänin ja laitokseen perusteella. Turun ja Porin lääni sekä Ahvenanmaan maakunta muodostivat oman ositteensa ja muut rannikkoläänit yhdessä omansa. Vastausprosentit Saaristomeren alueella olivat vuonna 1996 50 % ja vuonna 1997 51 % ja vastaavasti Ahvenanmaan alueella 58 % ja 42 %. Muilla murtovesialueilla keskimääräinen vastausprosentti oli 67-68 % (Savolainen *et al.* 1998).

Ainakin 1990-luvun loppupuolella näytti siltä, että kalaa kasvatetaan paljon enemmän kuin virallinen tilastointi on osoittanut tai vesioikeudellisten lupien mukaan olisi mahdollista. Vuonna 1990 arvioitiin, että virallisen tuotannon 18,6 milj. kg lisäksi tilastoimatta olisi jäänyt noin 3,2-3,9 milj. kg. Olisikin pohdittava sekä ohjausjärjestelmän että tilastoinnin uudistamista. Käytetyn rehun tilastointi ja rehukertoimen selvittäminen eri merialueillamme riittävällä otoskoolalla ja yleisimmillä rehuilla voisi antaa nykyisiä menetelmiä oikeamman kuvan tuotantomäärästä (Mäkinen ja Kaukoranta 1998).

3.7 Tuonti

Yhteensä tuontikalan osuus kokonaistarjonnasta oli vuonna 1996 40 % eli 130 miljoonaa kiloa ja sen arvo kokonaistarjonnasta on hieman alle puolet, vajaat 700 miljoonaa markkaa. Ihmisravinnoksi tuodun kalan osuus tästä oli 26 %. Vuonna 1999 kalaa ja kalavalmisteita tuotiin yhteensä 69,3 miljoonaa kiloa, josta ihmisravinnon osuus 45 %. Kalan kokonaistuonnin määrä pieneni puoleen vuodesta 1980 vuoteen 1996, koska turkistarhauksen lama aiheutti kalajauhon ja jätteen kysynnän heikkenemistä (Söderkultalahti *et al.* 1997, Kalan ulkomaankauppa 1998).

Tärkein tuontimaa on Norja, mistä vuoden 1996 tuonti oli 59 000 tonnia ja vuoden 1999 tuonti 34 000 tonnia. Tuontilohta käytettiin vuonna 1996 ihmisravinnoksi 3 728 tonnia ja määrä on kasvanut jyrkästi (Kuva 4). Vuonna 1999 käytettiin tuontilohta ja kirjolohta yhteensä 8 700 tonnia (Kalan ulkomaankauppa 1999, Söderkultalahti *et al.* 1997). Ulkomaisesta lohta jalostettiin vuonna 1997 perattuna 1 248 t ja fileenä 10 t, yhteensä siis 1 258 t, kirjolohta taas perattuna 70 t (Vihervuori *et al.* 1997).



Kuva 4. Viljellyn kokonaisen merilohen tuonti Norjasta Suomeen 1991-99 (Kalan ulkomaankauppa 1999).

Ulkomailta tuotu kala tarjotaan kuluttajalle yleensä pidemmälle jalostettuna kuin suomalainen kala (Nylander ja Vihervuori 1997). Ihmisravinnoksi tuodusta kalasta ja kalatuotteista valtaosa oli kalavalmisteita ja säilykkeitä. Vuonna 1996 niiden osuus tuontimäärästä oli 46 %. Tuoretta tai jäähdytettyä kalaa tuotiin 6 000 tonnia. Kalapakasteita tuotiin vuonna 1999 4 391 t, suolattua, kuivattua tai savustettua kalaa 1 468 t ja muita kalavalmisteita sekä säilykkeitä 14 019 t (Kalan ulkomaankauppa 1999).

4. Kuormitustilanne

4.1 Ravinnekuormitus

Kalanviljelykuormituksen ainetaseyhtälö muodostetaan seuraavan periaatteen mukaan (Kehitysaluerahasto 1987):

sisäänvirtaus + kehitys tasealueessa =
ulosvirtaus + varastointi tasealueessa

Fosforikuormituksen riippuvuutta rehukertoimesta kuvataan seuraavalla yhtälöllä (Mäkinen ja Ruuhonen 1992):

$Y = 10 * fr * P - z$, missä

y = fosforikuorma kg/tonni tuotettua kalaa

fr = rehukerroin

P = fosforin pitoisuus rehussa prosentteina

z = fosforin pitoisuus kalan lisäkasvussa kg/tonni

Samankaltainen yhtälö voidaan laatia myös typpikuormituksesta.

Lietteen tuotantoa kuvaa seuraava yhtälö (Runeberg 1992):

$$Q_{out} c_{out} = q_{in} c_{in} + F M c_m - F c_r - S c_s$$

S = Liete

FM = Rehu

F = kasvu

Q = virtaama

c = konsentraatio

Kuormitus riippuu rehukertoimesta eli ravinnon hyötykäyttösuhteesta, rehun ainespitoisuudesta, kalaan sitoutuvasta ainespitoisuudesta, kuiva-aineen (lietteen) poistotehosta, lietetuotannosta ja lietteen ainespitoisuudesta. Kalojen fosforipitoisuus on keskimäärin 0,35-0,45 % ja typpipitoisuus 2,7-2,8 % vaihdellen jonkin verran eri kalalajien välillä (Aarnipuro 1992). Wallin *et al.* (1992) sekä Håkanson *et al.* (1995) esittävät kalan fosforipitoisuuden olevan todennäköisesti lähellä 0,45 %. Kirjolohen fosforipitoisuuden laskenta-arvona käytetään usein 0,4 %, vaihteluväli tavallisimmin 0,35-0,40 %, mutta 1-kesäisen kirjolohen fosforipitoisuudeksi on mitattu 0,52 %. (Selänne

ja Lindgren 1984, Vesihallitus 1980, Selänne *et al.* 1983). Myös rehun sisältämän fosforin jakaantumisesta kalaan, veteen ja lietteeseen on esitetty eri tutkimuksissa hyvin erilaisia arvoja (taulukko 21).

Taulukko 21. Rehun sisältämän fosforin jakaantuminen kalaan, veteen ja lietteeseen eri tutkimusten mukaan (Mustajärvi 1999).

Lähde	Rehu-kerroin	Fosforia rehussa	Fosforin jakaantuminen, %			
			kala	liete	vesi	selittämätön osuus
Selin <i>et al.</i> 1981	1,38	1,3 %	20	41	34	-5
	1,08	1,0 %	33	24	29	-14
Sumari <i>et al.</i> 1982	1,66	1,1 %	18	34	40	-8
	1,73	1,4 %	15	44	28	-13
Selänne <i>et al.</i> 1983	1,0	0,9 %	42	39	13	-6
	1,15	0,9 %	36	24	41	+1
	1,42	0,75 %	35	36	32	+3
	1,10	0,93 %	37	28	44	+9
	1,54	1,40 %	23	27	43	-7
	1,06	1,45 %	33	21	54	+8
	1,32	1,39 %	28	33	36	-3
Eskelinen <i>et al.</i> 1983	1,54	1,07 %	23	35	40	-1
	1,81	1,14 %	18	43	41	+3
	2,11	0,86 %	21	50	40	+11
	1,27	0,96 %	31	30	32	-8
Bergheim <i>et al.</i> 1991				10		
Bergheim ja Åsgård 1996				18		
Christensen ja Horsted 1991			27-35	38-45	26-30	
Håkanson <i>et al.</i> 1995			45-55			
Tiainen <i>et al.</i> 1996			27-35	n. 35	n. 35	
Enell 1985			27-35	54	16	

Uusimmissa rehukokeissa on havaittu, että fosforista 37-40 % jäisi kalaan, ulosteisiin päätyisi 38-52 % ja eritteisiin 11-22 %, käytetystä rehulaadusta riippuen (Koskela *et al.* 1998).

Kirjolohi erittää pääosin kidusten läpi 10-12°C:ssa typpeä noin 150-700 mg/kg/g, josta noin 60 % ammoniakkia, pienen kalan metabolia on painoyksikköä kohti kiivaampaa kuin ison kalan. Tyypestä onkin huomattavasti suurempi osa jo alun alkaen liukoisessa muodossa (Puustinen ja Lindqvist 1982). Kirjallisuuden esittämät typpikuormitusarvot vaihtelevat myös huomattavasti (taulukko 22).

Taulukko 22. Rehun sisältämän typen jakautuminen eri lähteiden mukaan

Lähde	Typen jakaantuminen, %			
	kala	liete	vesi	selittämätön osuus
Selin <i>et al.</i> 1981	20		34	-5
	33		29	-14
Sumari <i>et al.</i> 1982	18		40	-8
	15		28	-13
Selänne <i>et al.</i> 1983	42		13	-6
	36		41	+1
	35		32	+3
	37		44	+9
Eskelinen <i>et al.</i> 1983	23		40	-1
	18		41	+3
	21		40	+11
	31		32	-8
Bergheim <i>et al.</i> 1991		10	65	
Bergheim ja Åsgård 1996			41	
Christensen ja Horsted 1991	30-39	13-17	36-56	
Tiainen <i>et al.</i> 1996	n. 25	n. 15	n. 60	
Ackefors ja Enell 1990	30	16	54	
Hall <i>et al.</i> 1990	23		65	

Uudemmissa kokeissa on havaittu, että kalaan jäisi valkuaisaineista 48-52 %, ulosteisiin jäisi 11-13 % ja eritteisiin 37-39 % (Koskela *et al.* 1998).

Myös kirjallisuuden esittämät arvot hiilikuormitukselle vaihtelevat. Hall *et al.* (1990) ovat laskeneet, että 75-78 % rehun sisältämästä hiilestä häviää ympäristöön ja 97 % siitä päätyy pohjasedimenttiin. Laitoksen alle päätyy 29 %. Edelleen Hall *et al.* (1990) ovat arvioineet, että rehun mukana hiilestä tulee 96 % ja kalanpoikasten 4 %, kaloihin jää 21 % ja häviöihin 1 %, liukoiseen muotoon päätyy 6 % ja sedimentoituneesta hiilestä, jota on 29 % liukenee 6 %. Bergheim *et al.* 1991 taas esittävät, että hiilestä päätyy liukoiseen muotoon 60 %. Johtuvatko erot rehujen tai kasvatusolosuhteiden kehittämisestä tai muista tekijöistä, on epäselvää (Midlen ja Redding 1998).

Lohikalajien ruokinnassa käytettyjen rehujen sisältämän fosforin sulavuus on noin 50 % eli puolet syödyn rehun sisältämästä fosforista poistuu ulosteiden mukana. Rehus- sa oleva fosfori on perustuotannolle käyttökelpoisempaa kuin ulosteessa oleva fosfori, johtuen siitä, että kala on jo käyttänyt rehusta käyttökelpoisimman fosforin. Erään tutkimuksen mukaan 1/8 rehun ja 1/3 ulosteiden fosforista olisi pysyvästi sitoutunut levillä käyttökeltvottomaan muotoon (Ruohonen ja Vielma 1994). Suoraan laitokselta sedimenttiin joutuu vain alle 1 % fosforista ja veteen liunneena 2-10 %. Järven kalakan- taan sitoutuneesta kalankasvatuslaitokselta tulleesta fosforista sedimenttiin joutuu 20-32 % ja veteen liukenee noin 5 %. Tämän laskelman mukaan järvien perustuotannon käyttöön tulisi 5-15 % laitoksella käytetyn rehun sisältämästä fosforikuormasta (Sal- lo ja Sundell 1996), mutta Petterssonin (1988) mukaan 30 % kiinteästä fosforista voi liueta veteen ja Perssonin (1988) mukaan vähintään 60 % kalankasvatuslaitoksen ko- konaisfosforista liukenee veteen pidemmällä aikavälillä ja on siis käyttökelpoista pri- maarituotannolle (Wallin ja Håkanson 1991). Persson (1986) esittää, että arviolta 25-60 % fosforista ja 15-30 % tyyppistä päätyy sedimenttiin. Persson (1988) esittää myös, että viikossa noin kolmasosa ulosteisiin sitoutuneesta tyyppistä voi liueta veteen ammo- niakkina. Tuloksena yli 80 % kalankasvatuslaitoksen kokonaistyyppistä on liukoisessa muodossa ja näin ollen käyttökelpoista primaarituotannolle. Laboratorio- ja paikka- kohtaiset kokeet ovat osoittaneet, että 7-64 % sedimentoituneesta fosforista voidaan kierrättää veteen desorption ja biologisten prosessien avulla (Enell 1987). Ravinne- kuormituksen lisäksi kalalaitoksilta poistuva purkuvesi saattaa sisältää lämpimänä vuodenaikana huomattavia määriä bakteereja. Fekaalisten streptokokkien sekä koli-

formisten ja heterotrofisten bakteerien on havaittu lisääntyvän kalalaitoksilla varsin runsaasti loppukesällä (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988, Wiman 1987).

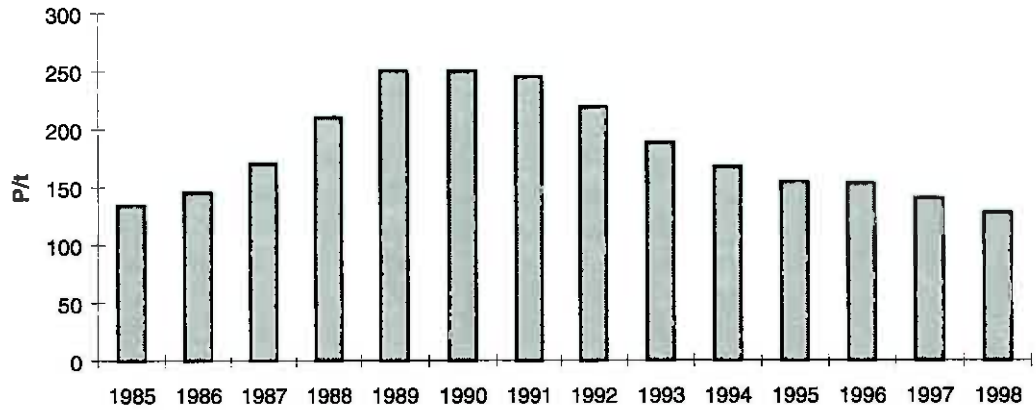
Suomen ympäristökeskuksen (1999) ylläpitämien virallisten kuormitustilastojen mukaan kalankasvatustoiminnan osuus on noin 3 % Suomen alueelta peräisin olevasta fosfori- ja vajaat 2 % typpikuormituksesta (Wideskog 2000, Silvo 1999). Samanlainen tilanne on myös muissa Euroopan maissa: maatalous ja yhdyskuntajätevedet kuormittavat huomattavasti enemmän (Midlen ja Redding 1998). Alueellisesti erot ovat suuria (taulukko 23): mm. Saaristomerelle Itämereltä tuleva fosforikuormitus on 800-1 000 tonnia vuodessa, mikä on enemmän kuin muut kuormitussektorit yhteensä ja lähes 20-kertainen kalankasvatuksen fosforikuormitukseen nähden. Lisäksi Saaristomeren vesipinta-alalle sataa vuosittain noin 79 tonnia fosforia ja 4 600 tonnia typpeä (Tiainen *et al.* 1996). Jokivesien mukana Saaristomeren on arvioitu tulevaksi 55 % typen ja 75 % fosforin kokonaiskuormasta. Kalankasvatuksen osuus saaristomereen tulevasta fosforikuormituksesta vuosina 1991-95 oli keskimäärin 8 % ja typpikuormituksesta 2 %. Kalankasvatus vaikuttaa vesien tilaan erityisesti Kustavin ja Taivassalon merialueella, Houtskarın ympäristössä, Rymättylän salmissa sekä Hiittisten merialueella (Kirkkala 1998, Helminen *et al.* 1998). Kalanviljelyn primäärinen BHK-kuormitus on melko pieni, 100-370 g/kg rehua tai 145-720 g/kg kalaa (Mäkinen 1983).

Kasvatettu kalamäärä Ahvenanmaalla oli noin 50 % koko Lounais-Suomen alueen tuotannosta ja 27 % koko Suomen tuotannosta. Ahvenanmaalla kalankasvatus on ylivoimaisesti suurin typen ja fosforin lähde. Ahvenanmaalle tulevasta kuormituksesta vesivirtausten mukana ei ole tietoa, ilmasta arvioidaan tulevan vuosittain noin 74 tonnia fosforia ja 5 250 tonnia typpeä (Tiainen *et al.* 1996).

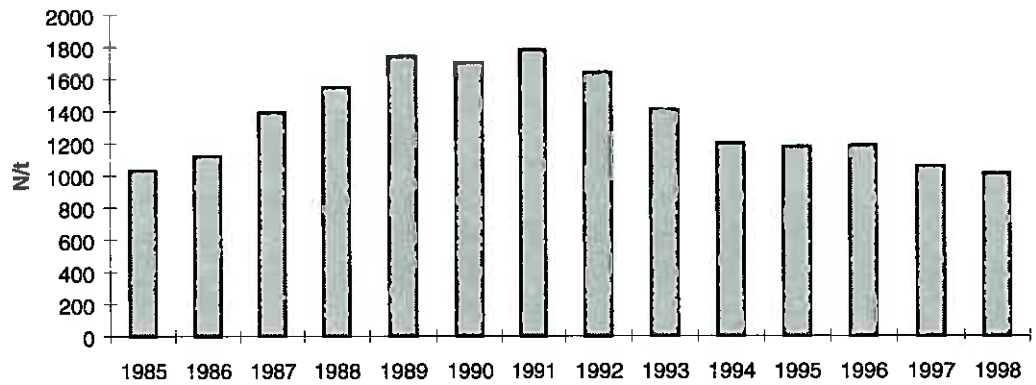
Taulukko 23. Kalankasvatuksesta aiheutuvia typpi- ja fosforikuormituksia vuonna 1994 alueittain (Tiainen *et al.* 1996).

	Lisäkasvu	Typpi	Fosfori
Saaristomeri	4 400 t	400 t	57 t
Ahvenanmaa	n. 4 800 t	270 t	40,8 t
Selkämeri	700 t	60 t	8 t
Kustavi-Taivassalo	1 100 t	104 t	13,5 t

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



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



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

4.2 Kuormitustilastot

Nykyinen kalankasvatuksen kuormituksen tilastointitapa on ollut käytössä vuodesta 1988 lähtien. Lähtötietoja kuormituslaskelmille ovat kalankasvattajien viranomaisille ilmoittamat tiedot. Alueelliset ympäristökeskukset lähettävät tammikuussa vuosiyhteenvetolomakkeet kalankasvatuslaitoksille täytettäväksi edellisen vuoden kalankasvatustoiminnasta. Laitoksilta pyydetään tiedot mm. kasvatukseen käytetyistä rehumääristä rehulajeittain sekä kasvatetusta kalamäärästä (lisäkasvuna). Tiedot perustuvat laitosten vastuullisten hoitajien allekirjoittamiin ilmoituksiin, joiden tulee perustua laitoksella säilytettävään hoitopäiväkirjaan. Ainetaselaskelmissa on kasvatustapahtumassa käytettyjen rehujen sisältämistä typpi- ja fosforimääristä vähennetty kaloihin sitoutunut typpi ja fosfori, esim. verkkoallaslaitoksilla ravinnekuormitus lasketaan seuraavasti:

Rehun P/N % x rehumäärä kg - lisäkasvuun sitoutunut P/N kg,

jossa lisäkasvuun sitoutuu 0,4 % P ja 2,75 % N kalojen tuorepainosta.

Maalaitoksilta pyydetään myös vuosiyhteenvedo kuormitustarkkailusta. Vuosikuormitus lasketaan kokoomanäytteiden avulla (tulevasta ja lähtevästä vedestä) virtaamalla painotettuna tai pienillä laitoksilla em. ainetaselaskelman avulla. Kuivarehujen osalta tilastoissa käytetään valmistajien vakuustodistuksissa ilmoittamia ravinnepitoisuuksia tai, jos kasvattajat eivät ole niitä ilmoittaneet, oletusarvona 1 % P ja 7,5 % N. Pehmeäraerehuilla on käytetty reseptien mukaisia pitoisuuksia tai niiden puuttuessa oletusarvona 0,8 % P ja 5 % N (Kaukoranta 1998).

Rehujen fosfori- ja typpipitoisuuksina on käytetty rehulaatujen vakuustodistusten mukaisia pitoisuuksia tai seuraavia oletusarvoja (Tiainen *et al.* 1996):

	N-pitoisuus (%)	P-pitoisuus	(%)
Kirjolohi	2,75	0,4	
Silakka	2,50	0,4	
Kalajauho	10,0	2,0	
Kuivarehu	7,0-7,5	1,0	
Pehmeäraerehu	5,0	0,8	

Vuoden 1998 kuormitukset on laskettu seuraavilla rehun pitoisuuksilla: typpipitoisuus 7 % ja fosforipitoisuus 1 % (Wideskog 2000).

4.2.1 Ominaiskuorma

SYKEN keräämien lisäkasvu- ja kuormitustietojen avulla laskemat ominaiskuormitukset fosforille ja typelle (g P/N tuotettua kalakiloa kohti) on esitetty taulukossa 24. Ominaiskuormituskertoimilla on kerrottu RKTL:n tuotantotilaston kasvatusmäärä ja näin saatu virallinen valtakunnallinen kuormitustilasto (Kaukoranta 1998). Orgaanisen jätteen määrän Ackefors ja Enell (1994) arvioivat olevan 2,5-kertainen suhteessa kalan elopainoon. Typestä 5,15 % erittyy ureana, pääosa ammoniakkinä (Kaushik ja Cowell 1991). Ammoniakin erityy on runsaampaa, kun kalat ruokitaan sulavalla proteiinikon-sentraatilla verrattuna kalajauhoon proteiinilähteenä (Fauconneau *et al.* 1989, Murai *et al.* 1984).

Taulukko 24. Ominaiskuormat.

	Mäkinen 1983,1987, Salonen 1983		Silvo 1999
Rehukerroin	1,8 (0,78-2,7)		1,29
Kuormitus	g/kg rehua	g/kg kalaa	g/kg kalaa
SS	80-280	110-520	
BHK ₇	100-370	145-720	
Typpi	7-149(43)	12-305(77)	63,4
Fosfori	2-22 (7)	4-36(13)	8

Rosenthal *et al.* (1988) ovat arvioineet liukoisen BHK:n kuormitukseksi 2,6 kg/t/d tanskalaisella kirjolohifarmilla ja laskeutuvan BHK:n osuudeksi 6 kg/t/d. Maa-altailta lähtevän veden fosfori-, ym. pitoisuuksia on mahdollista mitata ja niistä tehdään kuormituseurantoja. Näitä arvoja voisi käyttää myös laskettaessa merilaitoksista aiheutuvia kuormituksia. Mitattuja kuormitusarvoja ovat mm. kokonaistyyppi, BHK₇ ja COD_{Mn}. Esim. Hankataimen Oy:n laitoksella kerätään tunnin välein kokoomanäytettä poistovedestä fosforipitoisuuden mittausta varten (Lankinen 1999). Typpi- ja fosforikuormitukset kalamassaa kohden kasvavat lämpötilan noustessa ja vähenevät kalan kasvaessa. Kalaan sitoutuvat typpi- ja fosforimäärät pysyvät melko vakiona, mutta syömättömän rehun osuus pienenee alkuvaiheessa nopeasti ja kuormituksena veteen päätyvä osuus suurenee kalan kasvaessa. Suhteessa tuotantomäärään suurten kalojen kuormitus on siten suurempi. Hapteen kuluttavan aineksen kuorma kasvaa lämpötilan noustessa ja vähenee kalan kasvaessa suhteessa kalojen kokonaismassaan. Hengityksen osuus hapen pitoisuuden laskusta lisääntyy ja rehuylimäärän vähenee (Stigebrandt 1986).

4.3 Mallit kalankasvatuksesta aiheutuvien kuormitusten laskemiseksi

Sisävesialueilla Suomessa ja ulkomailla on käytetty Vollenweiderin (1968) mallia vesiasioiden käsittelyssä. Uppsalan yliopiston professori Lars Håkansonin johtama yhteistyöryhmä on kehittänyt kuormitusmallin merivesialueille käyttäen aineistona yhteensä 23 merialuetta Suomessa ja Ruotsissa (Mäkinen 1992).

Testatuista kalanviljelyn (tai muun toiminnan) ravinnekuormituksen vaikutusta kuvaavista muuttujista parhaaksi osoittautui näkösyvyys. Sallittu kuormitus voidaan laskea määrittelemällä näkösyvyydelle raja-arvo. Suurin sallittu ravinnekuormitus voidaan muuttaa suurimmaksi sallituksi laitoskooksi käyttämällä yhtälöä, joka ilmaisee laitosten ja kokonaiskuormituksen välisen yhteyden. Yhtälö on seuraava (Mäkinen 1992):

$$L = P * (FC * C_{\text{rehu}} - C_{\text{kala}})$$

jossa

L = typen tai fosforin kuormitus vuodessa (kg kok N tai kg kok P/vuosi)

P = kalan tuotanto vuodessa (kg tuorepainoa/vuosi)

FC = rehukerroin (kg käyttöpainoa rehua /P)

C = pitoisuus (% typpeä tai fosforia rehun tai kalan tuorepainosta)

Yhtälössä tulisi käyttää suomalaisia keskiarvoja tai kyseisen paikkaan suunnitellun laitoksen todistettavasti saavutettavissa olevia arvoja. Itse malli on muotoa (Mäkinen 1992):

Herkkyyks = $-1,03 * BA - 0,32 * Ty + 16,53 * 1/Dm$, jossa

BA = sedimentaatiopohjien pinta-alaosuus (%)

Ty = pintaveden vaihtuvuuden tyyppi-arvo (vrk)

Dm = keskisyvyys (m)

Mallia voidaan käyttää vain Itämeren rannikkoalueilla kooltaan 1-14 km² ja se toimii alueen tyyppillisillä keskiarvoilla tuotantokauden tuottavimpana aikana heinä-elokuussa. Mallia ei voi käyttää alueilla, joilla vallitsee voimakkaita virtauksia, tai joille laskee suuria jokia. Mallin muuttujien täytyy olla samaa suuruusluokkaa kuin ne empiiriset muuttujat, joiden avulla malli on perustettu. Kun käytetään näkösyvyyteen perustuvaa mallia, tämä merkitsee, että (Mäkinen 1992):

Anod = 75-3300 (kg kokN/ km²*v)

BA = 0-42 %

Ty = 0,2-13,8 vrk ja

Dm = 4,8-13,8 m.

Kaikki muuttujat voidaan määrittää kirjoituspöytätyönä suoraan merikortilta, tosin mm. sedimenttipohjien osuus voidaan selvittää myös paikan päällä. Keskisyvyyden määrittelyssä on rajattava kasvatuspaikan alue, eli se syväne tai syvänealue, jolle laitos sijoittuu. Pintaveden vaihtuvuuden määrittämistä varten täytyy määrittää alueen avoimuus ts. Kuinka altis sijaintipaikka on tuulten ja aaltojen vaikutukselle (Mäkinen 1992). Kun avoimuus on määritetty, voidaan pintaveden vaihtuvuus, eli tuuletuskerroin (Ty) laskea jommalla kummalla seuraavista kaavoista (Persson 1991):

$\ln(Ty) = -4,36 \sqrt{E} + 3,55$, tai $-4,33 * \sqrt{Ea} + 3,49$, jossa

Ty = pintaveden tyyppinen vaihtumisaika ("tuuletuskerroin", vrk)

E = topografinen avoimuus

Ea = yksinkertainen avoimuus (voidaan helposti määrittää manuaalisestikin, kts. Pilesjö *et al.* 1991).

$Ea = 100 * At/Ab$, jossa

At = leikkauspinta-ala (km²)

Ab = pohjan pinta-ala (km²)

Pohjan ravinne-dynaamisia oloja kuvaavan sedimentaatio- tai akkumulaatiopohjien prosentiosuuden (Ba) määrittämiseksi täytyy ensin määrittää kasvatusalueen keskimääräinen "suodatinkerroin" (MFT, kts. Pilesjö *et al.* 1991), joka kuvaa avoimuutta kasvatuspaikan läheisyydessä olevalla alueella eli kuinka suuri osa aaltojen ja tuulten energiasta "suodattuu" saarten ja muiden esteiden vuoksi pois.

Sedimentaatiopohjien osuus voidaan määrittää seuraavasta kaavasta (Persson 1991):

$$\sqrt{Ba} = -1,17 * \sqrt{Mft} - 3,83 * 1/vd - 0,84 * xm + 0,59 * \sqrt{Ins} + 13,83, \text{ jossa}$$

Ba = sedimentaatiopohjien osuus vesipinta-alasta (%)

Mft = keskimääräinen suodatinkerroin (km³)

$$Vd = \text{muototekijä} = 3 * Dm / D_{\max}$$

Dm = keskisyvyys (V/A, m)

Dmax = maksimisyvyys (m)

xm = keskikaltevuus (%)

Ins = saarten osuus pinta-alasta (%)

Sisävesien fosforikuormitusta kuvaavassa Dillonin ja Riglerin mallissa kokonaisfosforikonsentraatio järvessä on tilavuuden, virtausnopeuden, fosforikuorman ja sedimenttiin häviävän fosforiosuuden funktio.

$$[P] = L(1 - R) / Z\rho,$$

missä [P] on kokonaisfosforikonsentraatio (g/m³), L on kokonaisfosforikuorma (g/m² vuodessa), Z on keskisyvyys (m), R on kokonaisfosforista sedimenttiin jäänyt osuus ja ρ on virtausnopeus vuodessa. Beveridge (1987) on ehdottanut kolmea vaihetta kalankasvatuksen maksimikuormituksen tason määrittelyyn, suhteessa järven maksimifosforikonsentraatioon.

1. Mittaa järven vakiofosforipitoisuus, joka onnistuu parhaiten keväisin, kun vedet ovat sekoittuneet.
2. Veden fosforikuormituskapasiteetti Δ[P] on ero veden alkuperäisen fosforikonsentraation [P]_i ja korkeimman suotavan fosforipitoisuuden [P]_f välillä.

Δ[P] riippuu kalankasvatuslaitoksen fosforikuormituksesta, L_{fish}, järven koosta, A sen virtausnopeudesta ja sedimentin fosforin adsorptio-kapasiteetista:

$$\Delta[P] = L_{fish}(1 - R_{fish}) / Z\rho$$

$$\Delta[P] = L_{fish}(1 - R_{fish}) / Z\rho$$

$$L_{fish} = \Delta[P]Z\rho / (1 - R_{fish}),$$

missä Z = tilavuus jaettuna pinta-alalla (m), ρ = keskimääräinen ulosvirtaama vuodessa (Q0/V x R_{fish}) = x + [(1-x)R], missä x on se osuus fosforista, joka päättyy lopullisesti sedimenttiin tuloksena kiintoaineen hajoamisesta (45-55 % yleensä) ja R on se osuus liukenevasta kokonaisfosforista, joka päättyy sedimenttiin.

3. Kun korkein suotava fosforipitoisuus, L_{fish} , on määritelty, kalantuotannon (t/y) voi laskea jakamalla L_{fish} kokonaisfosforin keskiarvolla suhteessa tonniin tuotettua kalaa.

Norvang *et al.* (2000) ovat kehittäneet mallin kalankasvatuksen ympäristövaikutusten arviointiin Ahvenanmaan olosuhteissa. Ensimmäisessä kaavassa lasketaan alueen veden vaihtumisaika seuraavasti:

$$Tr = e^{-4,33 \cdot \sqrt{Ea} + 3,49}, \text{ missä}$$

T_y = veden vaihtumisaika

E_a = Topografinen avoimuus

Kalankasvatuksen vaikutus alueen fosforipitoisuuteen lasketaan seuraavasti:

$$CTP_{fisk} = \frac{TP_{kasvatus}}{Q}$$

$$CTP_{alue} = \frac{TP_{kasvatus}}{Q} + CTP_{ref}$$

Vaikutusparametreja

CTP_{kala} = Kokonaisfosfori kasvattamolla (mg/m^3)

CTP_{alue} = Kokonaisfosforikonsentraatio (0-10 m) kasvatusalueella (mg/m^3)

Kuormitusparametreja

$TP_{kasvattamo}$ = Kasvattamon fosforipäästö elokuun aikana (mg/kk)

CTP_{ref} = kokonaisfosforikonsentraatio (0-10 m) referenssialueella (mg/m^3)

Virtaamaparametrit

Q = virtaama (m^3/kk) = veden tilavuus/vaihtumisaika

Mallia on kokeiltu 21 alueella Ahvenanmaalla ja sillä on saatu aikaan lupaavia tuloksia. Rehevöitymistä kuvaavan lehtivihreän konsentraatioon elokuussa kalankasvattamon läheisyydessä Norvang *et al.* (2000) ovat kehittäneet seuraavan kaavan:

$$chla = 1 / (11,33 * 1 / CTP_{malli} - 0,21); (r^2 = 0,76, n = 28)$$

$$1 / \log(2 + \Delta chla) = 2,17 * \log(1 / (1 + CTP_{kala})) + 3,85; (r^2 = 0,68, n = 27)$$

$CTP_{malli} = CTP_{alue}$ laskettuna kaavalla

$\Delta chla$ = kasvattamolta tullut chla-määrä

Näkösyvyyden huonontumiseen laskemiseen Norvang *et al.* (2000) käyttävät seuraavaa kaavaa:

$$\Delta Sd_{malli} = 1,58 * \log(1 + CTP_{kala}) - 0,42; r^2 = 0,57, n = 28$$

ΔSd_{malli} = Kalankasvatuksesta aiheutuva näkösyvyyden heikentyminen (m)

Häkanson on jatkanut mallin kehittelyä Ahvenanmaalla. Loppuraportti ilmestyi 2000. Kehitetty malli on aiempaa edellä käsiteltyä yksinkertaisempi ja helpokäyttöisempi.

Kuormitusmallien käyttö ei sinänsä estä rehevöitymistä, mutta helpottaa kuitenkin valitsemaan sellaisia vesistöalueita, joiden ominaisuudet sopivat kalankasvatukseen (Midlen ja Redding 1998).

4.4 Kalankasvatuksen ympäristövaikutukset

Kalankasvatuslaitokset ovat enimmäkseen sijoittuneet puhtaille vesialueille. Suhteellinen muutos muuten puhtaalla vesialueelle voidaan kokea erittäin haitallisena, vaikka rehevöitymisaste ei kalankasvatuksen kuormituksen takia nousisikaan kovin korkeaksi (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Kuormituksen vastaanottavan vesialueen virtaus-, syvyys- ja kerrostuneisuusolosuhteet sekä sääolot vaikuttavat kuormituksen vaikutuksiin. Epäedullisissa olosuhteissa pienikin kuormitus aiheuttaa haitallisia muutoksia. Paikoissa, joissa virtaamat ovat suuria ja veden sekoittuminen hyvä, paikalliset vaikutukset saattavat jäädä hyvinkin pieniksi (Tiainen *et al.* 1996). Saaristomerellä tehdyssä tutkimuksessa kokonaisfosfori- ja typpipitoisuudet eivät muuttuneet suhteessa etäisyyteen kalankasvatuslaitoksesta. Myöskään pohja-eläinyhteisöjen laji- ja yksilömäärissä ei havaittu muutoksia (Honkanen *et al.* 1999). Kalankasvatuksen vaikutus ympäristöön on aina tapauskohtaista, joten yleispäteviä ennusteita on mahdotonta laatia (Midlen ja Redding 1998).

4.4.1 Ravinnekuormituksen vaikutukset

Kalankasvatuslaitoksen ravinnepäästöistä typpi ja fosfori ovat vesien koko tuotantoketjua ajatellen hyvin tavoiteltuja ns. minimitekijöitä, joiden niukkuus säätelee perustuotannon ja siten koko vesistön rehevyyden. Sisävesi- ja rannikkoalueilla minimitekijä on yleensä fosfori, Suomenlahdella, keskisellä ja eteläisellä Itämerellä sekä ul-

kosaaristossa taas tyyppi näyttää olevan leväkasvustoa rajoittava tekijä. (Tamminen 1983, Puustinen 1990, Vesi- ja ympäristöhallitus 1988, Tiainen *et al.* 1996).

Kuormituksen ajoittumisessa pääosin syksyyn piilee kalankasvatuksen vesistövaikutusten suurin ongelma. Elokuussa vesistöjen lämpötila on korkeimmillaan ja vesimäärä keskiarvoa pienempi sekä hajakuormituksen ja luonnonhuuhtouman mukanaan vesistöön tuoma fosforimäärä on alimmillaan. Kalankasvatus lisää tällöin levätuotannolle valmiiksi muokattuja fosfaatteja laitosten alapuoliseen veteen (Mäkinen 1983). Pääosa kuormituksesta tulee vesistöön silloin kuin valoa ja lämpöä on riittävästi, eli touko- ja lokakuun välisenä aikana, josta elo-syyskuussa peräti noin 60 %. Ekholmin (1999) kokeiden perusteella nykyisin käytössä olevien kalajauhoa sisältävien rehujen fosforista 35 % oli leville käyttökelpoisessa muodossa, ja rehua syöneiden kalojen ulosteiden sisältämästä fosforista 27 %. Soijatiivistettä sisältävää rehua syöneiden kalojen ulosteiden fosforin käyttökelpoisuus leville oli vain 9%.

Kokonaiskuormituksesta on talviaikaista vain n. 19 % (Kaunismaa ja Bagge 1983, Kirkkala 1998). Vesimassan kerrostuneisuus on voimakkaimmillaan, jolloin kasvanut hapenkulutus alusvedessä ja pohjalietteessä johtaa hapen vähenemiseen ja pahimmassa tapauksessa sen loppumiseen. Pohjaan varastoitunutta fosforia liukenee takaisin veteen, mikä entisestään nopeuttaa rehevöitymiskehitystä saaristoalueilla (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Vähähappisilla pohjilla pohjaeläimistön biomassaa vähenee murtoosaan puhtaan pohjan tasosta. Hapettomilla pohjilla elää vain mikrobeja, jotka hitaasti hajottavat pohjaan kerrostunutta eloperäistä ainesta sulfaatin sisältämää happea hyväksien käyttäen ja tuottavat myrkyllisiä kaasuja, esim. rikkivetyä tai metaania (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988, Persson 1987, Midlen ja Redding 1998). Norjalaisissa tutkimuksissa on verkkoallaskasvatuksessa mitattu rikkivedyn maksimipitoisuudeksi 0,3 µg/l, kun tappava pitoisuus kaloille on 1 µg/l (Storebakken ja Olsen 1982). Virtaavissa ja tehokkaasti sekoittuvissa vesissä kalankasvatus aiheuttaa harvoin happiongelmia. Ongelmallisia alueita ovat sen sijaan pienet kerrostuneet järvioltaat ja kynnysten eristämät syvänteet suojaisilla saaristoalueilla (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Merialueilla happipitoisuudet pintakerroksissa laskevat vain erittäin epäsuotuisissa oloissa, sen sijaan pohjien muutokset ja perustuotannon kasvu ovat verrattavissa makean veden alueella havaittaviin muutoksiin (Mäkinen 1983).

4.4.2 Vaikutukset kalastoon

Ruotsissa tehdyn tutkimuksen mukaan merkittävä osa kalankasvatustaloksesta tulevista partikkeleista joutuu järvessä elävien kalojen, pääasiassa särkien ja lahnojen ravinnoksi (Borum *et al.* 1995). Näin ollen kalankasvatuksen vaikutusta järvien fosforipitoisuuteen voi olla vaikea arvioida ja monet arviot ennustavatkin fosforipitoisuuden nousevan järvessä enemmän kuin todellisuudessa tapahtuu (Häkanson 1995). Vesistö-tarkkailuissa kalanviljelylaitosten vaikutusten on havaittu ulottuvan sisävesillä ja merialueilla muutamasta sadasta metristä noin kahteen kilometriin laitoksesta. Jokien varsilla sijaitsevien laitosten vesistövaikutukset saattavat ulottua muutamia kilometrejä laitosten alapuolelle (Salo ja Sundell 1996).

Kalankasvatus voi aiheuttaa sekä rakenteellisia, että toiminnallisia muutoksia luonnonkalapopulaatioissa (Koivisto ja Blomqvist 1988). Lajit, joilla on suuret ja yhtenäiset lisääntymisalueet ovat herkkiä ympäristömuutoksille, sillä haitallisen muutoksen seurauksena koko populaation lisääntyminen voi vaarantua (Tammi 1996). Rehevöitymisen myötä lisääntyvät epifyytiset rihmalevät voivat tukahduttaa ja peittää kalojen kuitualustoja, esim. vesikasveja ja kovia pohjia (Kangas *et al.* 1982). 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, Svärdsön ja Molin 1981, Leopold *et al.* 1986, Persson *et al.* 1991). Lohikalakantojen taantumiselle on monissa tutkimuksissa esitetty selkeät biologiset mekanismit, mm. lisääntymishäiriöt ja habitaatin kaventuminen (Tammi 1996). Liiallinen sedimentoituminen voi estää lohensukuisten kalojen poikasten hapen saannin tai kaivautumisen esiin sorasta (Olsson ja Persson 1986). Syyskutuiset lajit, etenkin järvikutuiset lohikalat, ovat kevätkutuisia herkempiä, sillä syyskutuisten lajien mätä kehittyä talven aikana, jolloin happiolot ovat useimmiten huonoimmillaan (Welch 1980) ja lisäksi mätä joutuu pidemmäksi ajaksi alttiiksi epäsuotuisille ympäristöoloille (Meng ja Müller 1988). Perustuotannon kasvusta johtuva lisääntyvän levädetrituksen sedimentaatio liettää monien syyskutuisten kalalajien lisääntymiselle elintärkeitä hiekkaa sorajärvien kivikkopohjia, jolloin kutualueiden happitilanne heikkenee ja mädin normaali kehitys vaarantuu (Ryder 1981, Meng ja Müller 1988, Müller 1992). Pohjan pilaantuminen vaikuttaa silakan kutuun, koska silakka ei kude liettyneelle pohjalle. Näin ollen kalankasvatusalaita ei tule sijoittaa silakan kutualueille (Hallikainen *et al.* 1987).

Sen sijaan särkikaloiden runsastumiseen johtavien kalastomuutosten mekanismit keski-tuottoisista järvistä runsastuottoisiin ovat monimutkaisempia ja niitä on tutkittu viime aikoina vilkkaasti (Diehl 1988, Lammens 1989, Bergman 1991, Persson *et al.* 1991, Persson *et al.* 1993, Persson ja Eklöv 1995). Kokeelliset tutkimukset ovat osoittaneet, että ravinteiden pitoisuus vapaassa vedessä on suurempi kalojen läsnäollessa kuin samassa systeemissä ilman kaloja (Andersson *et al.* 1988, Horppila ja Kairesalo 1990) ja lukuisat tutkimukset ovat osoittaneet tiheän särkipopulaation olevan merkittävä korkeaa levätuotantoa ja biomassaa ylläpitävä tekijä rehevöityneissä järvissä (Brabrandt *et al.* 1986, Horppila ja Kairesalo 1990 ja 1992). Kohtuullisesta rehevöitymisestä johtuva uposvesikasvien runsastuminen voi suosia kasvillisuusvyöhykkeeseen kutevia lajeja (Nümann 1972, Hartmann ja Nümann 1977, Lee *et al.* 1991, Harper 1992). Voimakkaan rehevöitymisen aiheuttama veden samentuminen vähentää kuitenkin uposvesikasvillisuutta ja heikentää vesikasvillisuudesta riippuvaisten lajien lisääntymistulosta sekä vähentää poikasille sopivia suoja-alueita (Harper 1992). Eri kalalajien lisääntymisalueisiin kohdistuvat haitalliset muutokset eivät heikennä useimpien särkikaloiden lisääntymismenestystä.

Kohtuullinen vesistön tuotantotason nousu nopeuttaa usein kalojen yksilöllistä kasvua, mutta toisaalta alusveden hapettomuus voi rajoittaa pohjaeläintuotantoa, jolloin ravintovarat vähenevät ja kalojen kasvunopeus ja kunto voivat huonontua (Leach *et al.* 1987). Kalojen kohonnut yksilömäärä helpottaa loisten siirtymistä kalasta toiseen ja edesauttaa näin ollen niiden runsastumista, lisäksi kohonneet bakteerimäärät lisäävät tulehdusten muodostumista vaurioituneisiin kohtiin (Tammi 1996). Lämpökerrosto-neissa vesissä rehevöitymisestä johtuva alusveden alentunut happipitoisuus voi pakottaa viileää vettä suosivat kalalajit lähemmäs pintaa, jolloin kalat altistuvat lämpöstressille (Welch 1980, Coutant 1985, 1987, Lee *et al.* 1991). Osa levien aineenvaihdunnan yhteydessä syntyvistä yhdisteistä on kaloille ja monille muille eläimille myrkyllisiä biotoksiineita (Sivonen 1990), joista etenkin sinileväkukintojen on raportoitu aiheuttaneen laajoja kalakuolemia Suomessa (Keto 1985, Granberg 1995). Rehevöitymisen aiheuttama talvinen happikato voi aiheuttaa äkillistä valikoivaa kuolevuutta kalalajistossa ja muuttaa näin nopeastikin järvien lajisuhteita (Tammi 1996).

4.4.3 Vaikutukset sedimenttiin

Kalankasvatus muuttaa pohjasedimentin typpi/fosforisuhdetta. Normaalisti suhde on noin 10, mutta kalankasvatuslaitoksen se on alle 2. Hiilipitoisuudet nousevat suunnilleen samassa suhteessa kuin typpipitoisuudet. Kalankasvatussedimentti on yleensä 10-18 cm paksu, havaittu maksimi 23 cm. Fosforipitoisuus vaihtelee välillä 0,3-1,9 %, maksimi 2,9 %, typpi 1,0-2,3 %, maksimi 2,5 % ja hiili 8-25 %, maksimi 36 %. Kaikki pitoisuudet ovat korkeita normaaliin sedimenttiin verrattuna, fosforin paikoin jopa

kymmenkertaisia. Arviolta 25-60 % fosforista ja 15-30 % typestä päätyy sedimenttiin (Persson 1986). Orgaanisen jätteen hajoamisnopeus pohjalla on 39-50 % vuosittain, niin kauan kuin makrofauna on vielä läsnä pohjasedimentissä ja jätteen määrä selvästi alle 20 cm. Kun sedimenttikerros on yli 20 cm, hajoamisnopeus laskee 11-15 %:in makrofaunan kadotessa, jolloin sedimenttikerroksen kasvu kiihtyy. Hapenkulutus sedimentissä lisääntyy lineaarisesti sedimenttikerroksen kasvaessa. Kun liete kerros on yli 20 cm, hapenkulutuksen kasvu hidastuu. Typpi ja fosfori vapautuvat merkittävässä määrin kalankasvatuslaitoksen lietteestä. Spontaaneja kaasuuntumisreaktioita alkaa tapahtua liete kerroksen ylittäessä 5 cm ja ne lisääntyvät lineaarisesti kerroksen kasvaessa (Kupka-Hansen *et al.* 1991).

Uotila (1991) on tutkinut kalankasvatuslietteen metallipitoisuuksia ja leviämistä. Selvästi eniten kalankasvatus vaikutti sinkkipitoisuuteen: sedimentissä 400 ppm ja jo 20 metrin päässä kasvattamosta 150 ppm. Yli 20 cm:n syvyydessä pitoisuudet olivat samoja. Lindeströmin (1988) mukaan kalakuolemat kalafarmien lähellä lisääntyvät juuri sinkin vuoksi. Palmin (1985) mukaan Suomenlahden sinkkipitoisuudet ovat niin korkealla, että silakan kutu saattaa vaarantua. Tilanne huonontuu, koska happosateiden vuoksi yhä happamammaksi muuttuva maaperä lisää sinkin liukenemistä veteen. Kuparipitoisuudet nousevat myös: korkeimmat pitoisuudet ovat olleet 120 ppm, kun 20 metrin päässä kasvattamossa pitoisuudet ovat 20-30 ppm. Kupari liukenee sinkin tavoin veteen ja sitoutuu lopulta kalaan. Suurin osa kuparista tulee muista lähteistä kuin rehusta, esim. kasvattamolla käytetyistä anti-fouling-materiaaleista, sinkin suurin lähde taas on rehu. Lisäksi rauta- ja mangaanipitoisuuksien on havaittu nousseen, kadmium-, kromi-, lyijy- ja nikkelpitoisuuksissa ei havaittu eroja. Pääasiassa raskasmetallit jäävät kalankasvatuslaitosten alapuolelle. Liete leviää noin 1,5 hehtaarin säteelle: kasvattamon alle sedimentoituu 1 800 g/m² vuosittain, 20-30 metrin päähän alle 200 g/m², kun kyseessä on kasvattamo, jonka vuosittainen lietteentuotanto on 4,5 t tai 10 % käytetyn rehun määrästä. Teoreettisen mallin mukaan suljetuilla lahdilla 80 % lietteestä päätyy kalankasvattamon alle ja 65 metriä on maksimietäisyys minne liete leviää. Avomeren reunalla vastaavat luvut ovat 65 % ja 250 metriä. Myös koetulokset tukevat näitä käsityksiä. Joissain paikoissa kasvattamon alla olevan sedimentin orgaanisen aineksen osuudet olivat korkeita, yli 30 % (Uotila 1991).

5. Kehitysnäkymät

5.1 Rehujen kehitys

Norjassa on arvioitu rehukertoimen parantuneen 80-luvun puolenvälin arvosta 2,0 tämän päivän arvoon 1,1 (WorldFish 1998). Kehitys lienee ollut Suomessa samankaltaista, ainakin laitosmittakaavaisissa kasvatuskokeissa on päästy rehukertoimiin 1,1-1,0 ruokakalan kasvatuksessa merialueella (Mäkinen ja Kaukoranta 1998, Ruuhonen ja Vielma 1994). Tiainen *et al.* (1996) eivät pidä todennäköisenä, että rehujen kohdalla tapahtuisi merkittävää kehitystä vuoden 1995 tasosta. Rehuihin liittyvistä seikoista fosforipitoisuuden pienentäminen, typpi-energia suhteen säätäminen, rehukertoimen pienentäminen sekä rehun sulavuuden ja fysikaalisten ominaisuuksien kehittäminen katsottiin tärkeiksi. Lisäksi oletettiin, että kehityksen suunta rehujen kohdalla lieneekin tulevaisuudessa lähinnä kotimaisen rehukalan määrän lisäämisessä teollisissa kuitarehuissa, jolloin voidaan osittain kierrättää ravinteita kasvatusalueiden sisällä. (Tiainen *et al.* 1996).

Kuitenkin kotimaisen silakan korkeat dioksiinipitoisuudet vähentävät sen käyttömahdollisuuksia rehuna. Sekä rehukerroin, että typen ja fosforin ominaiskuormitukset ovat edelleen alentuneet niin käytännön kasvatuksessa kuin erilaisissa ruokintakokeissa, joten ainakaan vielä rehujen kehitys ei ole pysähtynyt. Tästä esimerkkinä mm. RKT:n vuonna 1998 Rymättylän laitoksella tekemä ruokintakoe, jossa testattiin kalajauhon korvaamista soijaproteiinilla. Soijapitoisuus oli tällöin 69,4 %, josta suhteessa 4:1 soijatiivistettä ja soijajauhoa. Kalajauhon proteiinista korvattiin 75 %, jolloin kontrollirehun fosforipitoisuus putosi 1,1 %:sta 0,7 %:in. Näin ollen myös fosforipitoisuus oli huomattavasti pienempi kuin runsaasti kalajauhoa sisältäneellä rehulla, 4,5 g P/kg lisäkasvua. Melko matala rehujen valkuaisitaso ja hyvä rehukerroin alensi myös typpi-kuormitusta 36-38 g/kg:an. Typen ja fosforin kuormitustaso, joka pitäisi saavuttaa vuoteen 2005 mennessä alitettiin siis tässä kokeessa. Proteiinipitoisuus rehuissa oli 35 % ja rasvapitoisuus 28 %, lysiiniä 2,77 % ja metioniiniä 0,8 %. Levätesteillä mitattiin kuinka suuri osa rehun ja ulosteen fosforista on leville käyttökelpoisessa muodossa. Lopputuloksena soijaproteiinilla ruokitut kalat olivat 90 g suurempia kuin kalajauhorehulla ruokitut kalat. Rehukerroin oli hyvin tasainen, 1,1-1,12 ja kuolleisuus 2-3 %, ilman eroja eri rehujen välillä. Perkaushävikki oli pienempi soijaproteiinilla ruokituilla kaloilla, joskin ero oli vain 0-5 %-yksikköä. Rasvapitoisuus pysyi samana (Vielma *et al.* 1999). Kokeiden 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).

Kokeen perusteella Vielma (1998) esittääkin, että rehuissa tullaan käyttämään nykyistä enemmän kasviperäisiä raaka-aineita, jotka vähentävät rehun kalajauhon määrää, ja siten myös ravinnekuormitusta. Rehuissa saatetaan tulevaisuudessa käyttää myös entsyymejä ravinteiden imeytymisen parantamiseksi. Tällä hetkellä soijaproteiiniinivasteen valkuaisaine on noin 30 % kalajauhoa kalliimpaa, mutta kummanikin raaka-aineen hinnat vaihtelevat. Muita haittoja ovat raaka-aineen pitkä kuljetusmatka Pohjois-Amerikassa ja soijan prosessoinnin ympäristöhaitat.

5.2 Muut parannuskeinot

Kalankasvatuksen ympäristönsuojelutoimien päätösanalyttisessä arvioinnissa todettiin rehun kehittämisen lisäksi suositeltavaksi kalamateriaalin kehittäminen rodunjalostuksella. Ravinteiden poisto vesistöstä vesikasvien, kalojen ja keinoriuttojen avulla olivat analyysin perusteella huonoimpia toimenpiteitä ilmeisesti tehottomuuden ja suuren työmäärän vuoksi. Merilaitoksille soveltuvat ulkoiset toimenpiteet, kuten lietteen keräily, ruokinnan ohjauksen kehittäminen, umpikassilaitokset ja maalle rakennettu merilaitos tai kuormitukseen kohdistumiseen vaikuttavat menetelmät, kuten avomerialjely tai virrankehittimet, jäävät keskiarvopainotuksella melko alas (Tiainen *et al.* 1996).

6. Vesiensuojelun tavoitteet ja niiden toteutuskeinot

6.1 Alueellisia, valtakunnallisia ja kansainvälisiä tavoitteita

Kalankasvatuksen Ympäristöohjelmassa 1995-2005 Saaristomerta, Selkämeren rannikkoa ja Ahvenanmaata varten (Tiainen *et al.* 1996) arvioitiin lähtötaso kuormitukselle vuoden 1993 mukaan ja selvitettiin kalanviljelyn ympäristönsuojelun nykytila. Valtioneuvoston päätöksessä vesiensuojelun tavoitteiksi vuoteen 2005 on kalankasvatuksen kuormitustason alentamistavoite kullakin kuormitusalueella 30 %. Tällöin kalankasvatuksesta johtuva kuormitus olisi enintään 75 t fosforia ja 520 t typpeä, lähtökohdina vuoden 1993 tilanne, lisäkasvu 10-11 milj. kg kalaa, fosforikuormitus 116 t ja typpikuormitus 808 t. Siirryttäessä 2000-luvulle kyseisessä ympäristöohjelmassa on harkittu kalankasvatustoiminnan seurantaraporttien perusteella ominaiskuormituksen raja-arvojen alentamista enintään 7 g:an fosforia ja 60 g:an typpeä kasvatettavaa kalakiloa kohti vuodessa. Lisäksi vesialueen tilan sitä edellyttäessä ja yleensäkin teknisten ja taloudellisten mahdollisuuksien mukaan on suunnittelualueen kalankasvatustilaisilla edellisen lisäksi toteutettava ja käytettävä tehostettuja ns. ulkoisia menetelmiä kuormituksen alentamiseksi siten, että kalankasvatuksen ominaiskuormitus on enintään 5 g fosforia ja enintään 50 g typpeä kasvatettavaa kalakiloa kohti vuodessa. Ympäristönsuojelullisten kysymysten lisäksi selvitettiin lupakäytännön ja ohjausjärjestelmän toimivuutta (Tiainen *et al.* 1996).

Vesiensuojelun tavoiteohjelmassa vuodelle 2005 esitettiin Suomen kalankasvatuksen typpi- ja fosforikuormituksen vähentämistä 30 %:lla vuoden 1993 kuormitustasosta 290 tonnia fosforia ja 1 600 tonnia typpeä. Vuoden 2005 kuormituksiksi tulisi näin ollen nykyisen mittakaavan tuotannolla 200 t fosforia ja 1 100 t typpeä. Tavoitteena on myös estää mahdollisimman tehokkaasti kalatautien leviäminen kalankasvatustilaisilta sekä laitosten aiheuttamat mahdolliset vaarat luonnon arvokalakannoille (Ympäristöministeriö 1998). Kansainvälisistä tavoitteista ovat mainitsemisen arvoisia HELCOM-suositukset, joissa pyritään arvioimaan kuormitusten merkitys, rajoittamaan kuormituksia ja antamaan suosituksia mm. laitosten käyttömenetelmistä, ruokintamenetelmistä ja rehusta. Suosituksissa mainitaan myös mm. kalatautien leviämisen estäminen esim. kuolleiden kalojen mahdollisimman nopealla keräämisellä, lietteen poiston tehostaminen, matalakuormitteisempien rehujen kehittäminen toksisten antifouling-materiaalien käytön korvaaminen verkkokassimateriaalin pesulla ja kuivauksella, sijainninohjaus- ja valvontakysymykset jne. (HELCOM 1999).

Taulukko 25. Erilaisia tavoitteita kirjolohenkasvatuksen ominaiskuormituksiksi g/kg.

	Fosfori	Typpi
HELCOM-tavoite	8	70
Tavoite vuodelle 2005 (Ympäristöministeriö 1998)	7	44
Tavoite vuodelle 2005 (Tiainen <i>et al.</i> 1996)	7	60
Tehostettu tavoite (Tiainen <i>et al.</i> 1996)	5	50

6.2 Tavoitteet laitosten sisäisille toimenpiteille kuormitusten vähentämiseksi

Vesiensuojelun tavoiteohjelmassa vuodelle 2005 mainitaan sisäisinä toimenpiteinä paremmat rehut ja ympäristöä vähemmän kuormittava ruokinta,- viljely- ja päästöjen vähentämistekniikka (Ympäristöministeriö 1998). Pelkästään sisäisiä kuormituksia vähentämällä on mahdollista saavuttaa Helcom-tavoitteet, eli kokonaiskuormitus 80 t fosforia ja 700 t typpeä (Tiainen *et al.* 1996).

Kalankasvatustoiminnan vesistökuormituksen vähentämisessä yksinkertaisinta on lähteä liikkeelle menettelystä, jossa vähennetään itse kasvatustapahtumassa käytettävien ravinteiden määrää. Tämä tarkoittaa rehun koostumuksen ja ruokintajärjestelyjen optimointia. Näin voidaan myös parantaa saavutettavaa kasvatustulosta. Sisäiset toimenpiteet eivät aiheuta kalankasvatustaloksilla toteutettuna huomattavan suuria investointitarpeita ja ovat yleensä itsensä ajan myötä parempina tuotantotuloksina takaisin maksavia. Karkeana arvona voidaan kaikkien ns. sisäisten toimien tehoksi parhaimmillaan yhdessä olettaa suuruusluokaltaan 20-40 %:n vähennys vuoden 1993 tilanteeseen verrattuna. Lisäksi tavoitteena on kalaperkaamoiden jätevesien käsittelyn ja jätehuollon tehostaminen. Laitosten sisäisiä kuormituksia vähentävät toimenpiteet on tavoitteena pyrkiä toteuttamaan kalankasvatustaloksilla mahdollisimman tehokkaina sovellutuksina viipymättä (Tiainen *et al.* 1996).

6.3 Tavoitteet laitosten ulkoisille toimenpiteille kuormitusten vähentämiseksi

Ulkoisilla toimenpiteillä pyritään vähentämään vesistöön joutuvaa kuormitusta useimmiten erilaisilla teknisillä, varsinaisen kasvatustapahtuman ulkopuolelle sijoituvilla menetelmillä ja laitteistoilla. Ulkoiset toimenpiteet edellyttävät lähes poikkeuksetta huomattavia investointeja, joten ne lisäävät merkittävästi kalankasvatuksen tuotantokustannuksia ja soveltuvat luonnonolosuhteiden vuoksi toteutettaviksi vain kohdallaisen harvoilla nykyisistä merialueen laitoksista. Kokeilut toteutetaan yleensä kalliissa, mittatilaustyönä tehdyissä pilottilaitoksissa. Käytetyillä eri tekniikoilla voidaan arvioida merialueelle tulevina vuosina päästävän parhaimmillaan noin 30-40 %:n poistotehoon vesistöön johtuvasta fosfori-kuormituksesta ja 20-30 %:n poistotehoon vesistöön joutuvasta typpikuormituksesta (Tiainen *et al.* 1996). Mahdollisesti tarvittavat ja toteutettavat saneeraustoimenpiteet ovat aina hyvin kalliita. Vesiensuojelun tavoitteissa vuodelle 2005 kalankasvatukselle asetetut tavoitteet edellyttävät, että yli puoleen vuoden 2005 arvioidusta 24 500 tonnin tuotantokapasiteetista sovelletaan parasta käytökelpoista tekniikkaa. Tästä arvioidaan aiheutuvan yhteensä noin 100 miljoonan markan kokonaiskustannukset, jolloin vuosittaiset kulut olisivat 13,5 miljoonaa markkaa eli 3 % kokonaistuotannon arvosta. Arvioidut lisäkustannukset korottaisivat tällöin tuottajahintaa noin 0,6 markkaa kilolta (Ympäristöministeriö 1998).

6.3.1 Liete, sen keruu ja käsittely

Liete

Liete sisältää kalojen ulostetta, syömättä jäänyttä rehua ja kala-altaissa muodostunutta biomassaa (Tiainen *et al.* 1996). Kalanviljelyn lietetuotannoille on esitetty hyvin vaihtelevia arvoja (Leminen *et al.* 1986). esim. märkälietettä 2,3 l/kg ja kuiva-ainesta 255 g syötettyä rehukiloa kohden. Lietteen fosforipitoisuus on 10-40 mg/g ja vastaavasti typpipitoisuus 26-60 mg/g lietteen kuiva-ainetta. Kalanviljelylietteessä oleva fosfori liukenee varsin nopeasti kun veden lämpötila on korkea (Eskelinen 1988, Vesi- ja

ympäristöhallitus 1988, Selänne ja Lindgren 1984). Näin ollen liete tulisi saada jatkokäsittelyyn mahdollisimman tuoreena (Kehitysaluerahasto 1987). Järkevintä on käyttää itsepuhdistuvia altaita, mistä liete johdetaan välittömästi lietteen erottimeen. Tässä välissä lietettä ei kannata pumpata, ettei se hajoa (Runeberg 1992). Lietteen iän kasvaessa jäljelle jää vain tiukimmin lietteeseen sitoutunut fosfori, joka sedimentoituu, eikä osallistu rehevöitymistapahtumaan. Kaiken kaikkiaan tietämys fosforin kierrosta kalanviljelyssä on vähäistä (Kehitysaluerahasto 1987). Kasvatusaltaissa syntyy myös muita lietteitä, jotka poistuvat pesulietteinä altaita puhdistettaessa. Nämä sisältävät bakteeri-, sieni- ja leväkasvustoja sekä uloste- ja rehujätteitä (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Kalan vanhentuessa lietetuotanto lisääntyy, mutta lietteen kuivaainepitoisuus laskee (Selänne *et al.* 1983).

Kalan ulosteille on ominaista suuri ominaispaino ja hyvä laskeutuvuus heti ulostuksen jälkeen (Eskelinen 1988). Tuorelietteen laskeutuvuus on 1-3 m/min (Mäkinen 1986). Pohjalle laskeutuneissa lietteissä alkavat välittömästi hajoamisprosessit, joiden seurauksena lietteen koostumus muuttuu ja siihen sitoutuneet ravinteet alkavat liueta veteen. Altaan pohjalle laskeutuneiden partikkeleiden poisto onnistuu nykytekniikalla kohtuullisesti. Leijuvien eli suspendoituneiden partikkeleiden poistoon tarvittaisiin vielä huomattavasti kehittyneempää ja kalliimpaa tekniikkaa (Tiainen *et al.* 1996). Maa-allaslaitoksissa yleinen käytäntö nykyisin on, että lietettä poistetaan muutamien päivien jaksoissa lietesyvennyksistä, jolloin ravinnekuormitusta voidaan vähentää 5-10 % (Hakala *et al.* 1994). Merialueella kalat kasvatetaan verkkokasseissa, jossa lietteen talteenottoon ei toistaiseksi ole löydetty järkeviä taloudellisia menetelmiä (Kirkkala 1998). Lietteessä muodostuu usein kesälämpötilassa voimakkaasti pohjasta ylös kuplivaa metaanikaasua (Naukkarinen 1983).

Kalanviljelyn poisto- ja lietevesien partikkeleiden kokojakauma on suuri. Tämä vaikeuttaa sopivien puhdistusmenetelmien valintaa. Suurin osa nykyisistä kalanviljelyn jätevesien käsittelymenetelmistä on toimintatavaltaan mekaanisia (Tiainen *et al.* 1996), esim. suotimia (Lekang ja Færa 1995). Tämän jälkeen liete kuivataan. Stabi-loimaton liete on ongelma, koska sitä ei voi käyttää sellaisenaan. Kalankasvatuksen jätteet voitaisiin käsitellä yhdessä maa- ja kotitalousjätteiden kanssa paikallisessa mit-takaavassa, jolloin kustannukset voitaisiin saada alentumaan (Lekang *et al.* 1997).

Itsepuhdistuvat altaat

Kalanviljelyssä etenkin poikastuotannossa kehitys on johtanut entistä selkeämmin itsepuhdistuviin pyöreisiin tai nurkistaan pyöristettyihin altaisiin. Veden virtausnopeus ja virtauksen jakautuminen säädetään sellaiseksi, että kiintoainekulku kohti keskikaivon lietesuppilaa (Aarnipuro 1992). Tehtyjen tutkimusten perusteella voidaan fosforireduktioksi arvioida n. 10-40 % hukkafosforista (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Itsepuhdistuvat maa-altaat ovat hankalakäyttöisiä ja vaativat suurta virtaamaa ja näin ollen myös vedenkulutusta (Runeberg 1992).

Kiertovesitys

Kiertovesilaitos, jossa laitoksen läpi mennyttä vettä käytetään puhdistettuna ja käsiteltyinä uudelleen tuotantoprosessissa, ratkaisisi lähes kokonaan kalankasvatuksen ympäristöongelmat (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Lisäksi voidaan säästää vettä alueilla, joissa veden saanti on rajoitettu (Wernvall 1983). Laitoksen perustamis- ja käyttökustannukset ovat kuitenkin suuret ja ne ovat häiriöherkkiä perinteisiin laitostyyppeihin verrattuna (Salo ja Sundell 1996). Vuonna 1983 Tanskassa oli toiminnassa seitsemän kiertovesijärjestelmää, joista neljä laitostuotantokäytössä. Myös Ruotsissa kiertovesijärjestelmää on kokeiltu lohelle ja kirjolohelle lupaavin tuloksin. Korvausveden määrä on 240 t vuodessa tuottavalle laitokselle 4-5 m³/d ruotsalaisten laskelmien mukaan. Kala-

tiheys kierto-vesijärjestelmissä voi olla suuri, Tanskassa suunnittelu-arvot ovat vaihdelleet välillä 20-150 kg/m³. Investointikustannukset ovat suuret, ruotsalaisen tutkimuksen mukaan 200 t vuodessa kirjolohta tuottavan ja 850 000 kpl 50 g poikasta tuottavan laitoksen pääomakustannukset ovat vuodessa noin 4,5 milj. mk (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Kierto-vesijärjestelmä edellyttää suurta laitospinta-alaa ja ympärivuotista laitoimintaa ollakseen taloudellinen. Suomen oloissa ratkaisevaa on taloudellinen energiansaanti. Pitkällä tähtäimellä veden kierrättäminen saattaa kuitenkin tarjota lupaavia näkymiä ja osaratkaisut saattavat olla mahdollisia jo nyt (Kananen ja Väyrynen 1989). Nitrifioivia biosuotimia on sisällytetty useimpiin vedenkierrätysjärjestelmiin johtuen niiden kyvystä muuttaa ammonium nitraatiksi. Niiden perusvaatimuksena on korkea ja stabiili nitrifointi, suuri pinta-ala suhteessa tilavuuteen, mekaaninen stabiilius, yksinkertainen käyttö ja ylläpito sekä kustannustehokkuus (Skjølstrup 1997). Kuormituksista tärkein on ammoniumkuormitus.

Lietteen keruu

Poistoveden partikkeleiden poistoon voidaan käyttää esim. pyörreselkeyttintä. Pyörreselkeyttimen toiminta perustuu laskeutukseen. 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). Pyörreselkeyttin soveltuu käytettäväksi vain itsepuhdistuvien altaiden yhteydessä (Mäkinen 1983). Toimiakseen kunnolla pyörreselkeyttin vaatii tasaista virtaamaa ja tuoretta lietettä, jolla on hyvät laskeutumisominaisuudet. Maa-altaiden tai hitaiden uoma-altaiden yhteyteen se ei sovi, koska ne ovat itse laskeutusaltaita. Lietesäiliön koon mitoituksessa voidaan käyttää tietoa altaiden suurimmasta päivittäisestä rehumäärästä: Vuorokautinen runsaasti vettä sisältävän lietteen määrä (>95 %) voidaan arvioida 2-3-kertaiseksi maksimirehunkulutukseen (Tiainen *et al.* 1996, Mäkinen 1983). Liettevesi on pyörreselkeyttimestä tullessaan varsin väkevää, esim. fosforipitoisuudet vaihtelevat paristakymmenestä milligrammasta aina yli 300 mg/l pitoisuuteen asti, eli kasvavat selvästi suhteessa tuorelietteeseen. Tämä johtunee siitä, että sinne päätyvät painavat partikkelit, joiden fosforipitoisuus on suuri. Lietteveden käsittelyssä on kokeiltu turvesuodatinta (Selänne *et al.* 1983), mutta se ei kuitenkaan yksin riitä varsinaisen pyörreselkeyttinlietteveden käsittelyyn. Kyseeseen tulee lähinnä saostuskemikaalien käyttö lietteen tiivistämiseksi, ylijäämäveden poistamiseksi ja liuenneiden ravinteiden saostamiseksi sekä mahdollisesti lietteen stabiloimiseksi. Alustavissa kokeissa on saatu tyydyttäviä tuloksia tavanomaisilla vesienpuhdistuksessa käytetyillä kemikaaleilla (Selänne *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). Pyörreselkeyttin pinta-alaltaan 64 m² pystyy riittävään kiintoaineen erotukseen 500 m²:n laskeutusaltaasta (Warrer-Hansen 1982).

Verkkoallaskasvatuksessa lietteen poistamiseksi on kaksi toisistaan eroavaa tapaa, jotka molemmat perustuvat laskeutukseen. Toinen vaihtoehto on imuruoppaus vesistön pohjalta, toinen verkkoaltaan alle rakennettavat lietteenkeräyslaitteet sisältäen jatkokäsittelyn (Kehitysaluerahasto 1987). Laitteistolla voidaan päästä yli 50 %:n kiintoainereduktioon, kun liete poistetaan useamman kerran vuorokaudessa (Enell *et al.* 1984). Suomalaisissa kokeissa lietettä on onnistuttu saamaan talteen 58-153 g TS/kg rehua ja fosforia 15-50 % rehun sisältämästä fosforista (Sokka 1986, Leminen *et al.* 1986), mutta on otettava huomioon, että osa talteensaadusta kiintoaineesta on peräisin vesistöistä (Mäkinen 1999). Norjassa koeluontoisesti testattu lietteenpoistojärjestelmä osoitautui herkäksi aaltoilun ja virtausten vaikutuksilla (Pedersen 1982). Lietteen keruuta varten tarvittavia umpikasseja tai lietesuppiloita voidaan toteuttaa merialueilla, joilla veden virtausnopeudet ovat enintään suuruusluokkaa 3 solmua ja aallon korkeudet alle 1,0 m. Maa-altaiden osalta ei vastaavia rajoituksia ole. Putkikasvattamoiden kohdalla asiaa ei liene vielä tarkemmin selvitetty, mutta ne vastannevat umpikasseja. Lietteen keruu vaatii aina lisäksi kerättävän lietteen tehokkaan jatkokäsittelyn ja asianmukaisen

loppusijoituksen. (Tiainen *et al.* 1996) (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Kaiken kaikkiaan verkkoallaslaitosten lietteenpoistoteknologiassa ollaan otettu vasta ensi askeleet (Kehitysaluerahasto 1987).

Verkkokassien alle rakennettavia lietesuppiloita on kokeiltu meriolosuhteissa mm. Kustavissa ja Houtskarissa. Lietteenkeräyksellä saatiin talteen 15-25 % mereen muutoin joutuvasta fosforista ja 9 % mereen joutuvasta typestä. Umpikassia on kokeiltu Kustavissa vuosina 1988 ja 1990. Menetelmällä saatiin talteen 11 % mereen muutoin joutuvasta fosforista ja 3 % mereen joutuvasta typestä (Tiainen *et al.* 1996). Kustavin kokeissa lietettä saatiin talteen 138 g TS/kg rehua ja kalakiloa kohti 212,5 g TS/kg. Houtskarin kokeessa suppilomallilla 76 g TS/kg rehua ja pressumallilla 189 g TS/kg rehua. Lietteen fosforipitoisuudeksi saatiin 4,1-24 mg P/kg TS, keskiarvo 6,6-11,4 mg P/kg TS (Kehitysaluerahasto 1987). Lietepumppuna käytettiin 50 mm polypeptidi-putkesta modifioitua mammutpumppua. Lieke pumpattiin 10 minuuttia 2 kertaa päivässä tapahtuvan ruokinnan jälkeen tutkimuslautalla olevaan tynnyriin. Kuivaainereduktioksi arvioitiin 50-70 % (Leminen *et al.* 1986). 5 vuoden kuoletusajalla, 10 %:n korkokannalla ja tutkimuksen materiaalihinta-arvioiden perusteella saadaan lietteenkeruujärjestelmän hinnaksi noin 35 000-45 000 mk/240 m²-kassiyksikkö. Vuotuiseksi rakennuskustannukseksi tuotekiloa kohti saadaan 0,7-0,9 mk/kg kalaa perkaushävikin ollessa 16 % (Leminen *et al.* 1986). Saaristomerellä 1986 tehtyjen suppilomallikokeiden perusteella arvioitiin, että poistettua fosforikiloa kohti kustannukset ovat 20 t:n laitoksella 500-1 100 mk, 50 t laitoksella 350-600 mk ja vielä 100 t:n laitoksellakin 300-450 mk, eli noin 1 mk/kg (Karttunen 1986, Kehitysaluerahasto Oy 1987).

Ruotsissa tehdyssä kaupallisessa tutkimuksessa on suppiloilla ja sen jälkeisellä suodatuslaitoksella, jossa erotuskyky 50-100 µm, saatu poistettua peräti 82 % fosforista. Suodatuslaitoksen tehokkuus on 90 % fosforille ja 65 % typelle. Päästöiksi on arvioitu vain 4 kg P/t kalaa (Enell *et al.* 1984). Muissa tutkimuksissa ei näin hyviin tuloksiin olla päästy (Solander 1987).

Muita menetelmiä lietteen käsittelyyn

Kehittynyt ja puhdistusteholtaan hyvä lietevesien käsittelymenetelmä on flotaatio. 15 minuutin viipymällä saadaan 95 %:n reduktio kokonaisfosfori, kokonaistyyppi-, BHK-, ja bakteeripitoisuuksissa ja kiintoainereduktiokin on 90 %. Flotaatiota käyttämällä on mahdollista puhdistaa vesi jopa puhtaammaksi kuin kalankasvatuslaitokselle tuleva vesi (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Flotaatio on kuitenkin investointi- ja käyttökustannuksiltaan varsin kallis menetelmä johtuen ilmastuksesta 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 m (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988).

Jäteveden laskeutumattomat ja hitaasti laskeutuvat partikkelit voidaan poistaa siivilöimällä ja suodattamalla. Kalankasvatuksen jätevesien puhdistuksessa siivilät tulevat nykyisin kyseeseen lähinnä perkaamojätevesien käsittelyssä. Siivilöinti sopii myös maa- tai umpikassilaitoksen lietevesien käsittelyyn. Kolmiosiivilään jäänyt liete on tiiviimpää ja puhdistustulos on hieman parempi kuin rumpusiivilöinnissä, kiintoaine jopa yli 90 % ja fosfori 70-80 %. Lisäksi kolmiosiivilä on ympäristöystävällinen ja käytövarma. 60 µm:n kolmiosiivilä 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).

Suodatuksessa lieteveden puhdistus perustuu suodatinmateriaalin kykyyn suodattaa ja sitoa itseensä jäteveden sisältämiä aineita, mm. ravinteita. Nykyisellään suodattimia on käytössä myös lähinnä perkaamojätevesien käsittelyssä. Jatkossa eri suodattimilla,

erityisesti turvepohjaisilla, saattaa olla käyttöä myös suoraan kasvatusaltaista kerättävän 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). Hyvän puhdistustuloksen saavuttaminen vaatii erittäin suuret siivilöinti tai suodatuspinta-alat (Tiainen *et al.* 1996).

Kalankasvatuslietteen kuivausmenetelmänä tulee kustannussyistä kysymykseen ainoastaan lietelava (Salo ja Sundell 1996). Kemikaalien lisäystä flokkaukseen ei yleensä harjoiteta (Midlen ja Redding 1998).

Lietteen tiivistämön ohjearvoja (Vesi ja ympäristöhallitus 1988)

Panostiivistäjä:

laskeutusaika 6-12 h

kuiva-ainekuormitus 6-8 kg TS/m²h

syvyyden suhde läpimittaan noin 1:1 (pienet puhdistamot 2:1)

yleensä läpimitta 5-10 m ja

tilavuus = 0,5-1,0 x vuorokautinen lietevesimäärä

Jatkuvatoiminen tiivistäjä:

suositeltava kuiva-ainekuormitus 2-6 kg TS/m²h

pintakuorma 0,2-0,5 m/h

tiivistämön reunasyvyys noin 3 m

lietekerroksen paksuus 1,5-2 m ja

kirkastekerroksen paksuus noin 1 m

Käyttämällä panostiivistämössä sammutettua kalkkia koagulanttina 2-4 kg/m³ lietevedettä on päästy noin 95 % fosforireduktioon ja 97 % kiintoainereduktioon (Selänne 1988). Muina kemikaaleina on käytetty alumiinisulfaattia ja ferrikloridia (Runeberg 1992). Tiivistämössä voidaan saavuttaa 85-90 %:n laskeutumistehokkuus ylivuotovirtaamalla 1 m/h (Cripps ja Bergheim 1997). Lietteen kuivaukseen Runeberg (1992) mainitsee parhaaksi menetelmäksi turvekäsittelyn. Yhdistämällä lietteen kemiallinen saostus ja turvesuodatus saadaan lieteveden fosfori talteen keskimäärin 50 % tehokkaammin kuin pelkällä turvesuodatuksella ja lietevedettä pystytään käsittelemään moninkertainen määrä turvekuutiota kohti kemikaloimattomaan lietteeseen verrattuna. Kemiallinen saostus ja turvesuodatus sopivat hyvin myös perkausjätevesien käsittelyyn (Salo ja Sundell 1996). Lietteen kuivaukselle Midlen ja Redding (1998) pitävät parhaana vaihtoehtona avoimia tankkeja ja lammikoita, joiden jälkeen liete sijoitetaan lannoitteeksi. Kirkasteen käsittelyyn liuenneiden ravinteiden poistamiseksi sopii sadetus, turvesuodatus tai hiekkasuodatus mahdollisesti kemikaaleilla tehostettuna (Salo ja Sundell 1996).

Kasvatusvedestä erotetun lietteen jatkokäsittelymenetelminä on käytetty mm. rinnevalutusta, turvesuodatusta ja kemiallista tiivistystä. Kemiallisesti tiivistetty, stabiloitu liete on yleensä kerätty kokoojakaivoon ja ajettu kaatopaikalle tai maanparannusaineksi (Aarnipuro 1992). Maaperäkäsittelyjä ovat kastelu kasvipeitteiselle pinnalle, imeytys, pintavalutus, vesikasvikäsittely tai maaperän sisällä pinnan alla tapahtuva käsittely (mm. Latvala 1987). Kalkkistabilointi on hyvä tapa kalankasvattamoiden las-

keutetun lietteen jatkokäsittelyyn (Mäkinen 1983, Liltvedt *et al.* 1991). Lietteen maanparannusominaisuudet ovat edulliset (Mäkinen 1983). Typpi- ja fosforipitoisuuksista johtuen kalankasvatuslaitosten lietteitä voidaan käyttää lannoitteena maataloudessa (Wang 1993) kuiva-aineena hehtaarille enintään 3 tonnia vuodessa (Latostenmaa 1983) ja tuoreena lietteenä 190 m³/ha. 100 tonnia tuottavan laitoksen peltomaan tarve olisi näin ollen 8 hehtaaria vuodessa (Mäkinen 1983). Tuore kalankasvatusliete vastaa fosforipitoisuudeltaan jopa sian lietelantaa, typpipitoisuus on samaa suuruusluokkaa kuin karjanlannalla ja naudan lietelannalla (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Raskasmetallipitoisuudet ovat niin pieniä, etteivät ne aseta estettä lietteiden hyödyntämiselle (Myllylä 1976). Uudemman tekniikan mukaisista lietteenkäsittelymenetelmistä lämpölahotus, kompostointi tai anaerobitekniikat tulevat kysymyksen lähinnä vain suurilla laitoksilla (Mäkinen 1983).

Hanka-Taimenessa liete poistetaan päivittäin altaiden pohjalta suppiloiden kautta selkeytykseen, missä fosfori saostetaan polyalumiinikloridia hyväksikäyttäen. Polyalumiinikloridia kuluu vähän toista tonnia vuodessa. Laskeutusaltaalta kirkaste johdetaan turvesuodatuksen läpi vesistöön (Lankinen 1999). Maa-altailta liete poistetaan usein vain tyhjennysten yhteydessä (Lankinen 1999), Tervossa taas ruoppaamalla vuosittain (Sillman-Valle 1999). Tällöin suurin osa fosforista on ehtinyt liueta veteen.

6.3.2 Jäteveden käsittely

Kalankasvatuksen jätevesi muodostaa ongelman, koska se sisältää ravinteita ja mahdollisesti myös paikallista kalakantaa uhkaavia patogeeneja (Stevik ja Lekang 1995), kuten kokonaiskoliformisia bakteereita ja fekaalisia streptokokkeja (Hänninen 1996). Poistuva vesi on kuitenkin useimmiten huomattavasti puhtaampaa kuin puhdistettu asumajätevesi (Mäkinen 1983). Hyvin laimeiden ja määriteltävien suurien liuosten puhdistaminen vaatii kallista teknologiaa. Ravinteet esiintyvät sekä liukoisena että partikkeleihin sitoutuneena. Käytännössä on mahdollista poistaa vain partikkeleihin sitoutuneita ravinteita (Tiainen *et al.* 1996). Kemiallisia tai biologisia menetelmiä ei voi käyttää (Runeberg 1992).

Pienillä poikaslaitoksilla on teknisesti, muttei taloudellisesti mahdollista puhdistaa koko laitoksen käyttämä vesimäärä, eikä pelkästään jokin erillinen jätevesijae. Tarvittava tekniikka on varsin monimutkaista, erittäin kallista investoinneiltaan ja käyttökuluiltaan, eikä ainakaan toistaiseksi sovellu merialueen teuraskalakasvattamoille. Ns. maalaitoksille on jo olemassa suodattimia, joilla voidaan käsitellä koko vesimäärä. Kehitys johtanee siihen, että näiden kustannukset alenevat kohtuulliselle tasolle (Tiainen *et al.* 1996). Merivesialueen verkkokassilaitosten poistoveden käsittely ei ole tavanomaisin menetelmin taloudellisesti mahdollista. Vesimäärät ovat suuria, joten tarvittava flokkauksemikaalien määrä olisi hyvin suuri ja tarvittaisiin epätaloudellisen suuria laskeutusaltaita (Mäkinen 1983). Kanadassa on kokeiltu menetelmää, jossa poikaslaitoksen jätevedettä johdetaan kasvihuoneeseen. Kasvit käyttävät hyväkseen jäteveden sisältämän fosforin (Hann 2000).

Puustinen ja Lindqvist (1982) ovat tutkineet vesikasvillisuuden merkitystä liuenneiden ravinteiden talteenottajana. Tutkimuksissa havaittiin vesikasvien, erityisesti *Elodean*, sisältävän fosforia ja typpiä verrattain lineaarisessa suhteessa veden fosfori- ja typpipitoisuuteen. Welch *et al.* (1979) saivat USA:ssa Long Lake-järvessä *Elodea densa*-kasvustoihin sitoutuneen fosforin määräksi 41 % järven fosforikuormituksesta. Korjattuja vesikasveja on mahdollista käyttää mm. nautakarjan ja lampaiden rehuksi tuoreena, kuivattuna ja myös säilörehuna (Kossila ja Heikkilä 1977). Lisäksi kasvit voidaan kompostoida (Puustinen ja Lindqvist 1982), tai polttaa, jolloin niistä saadaan energiaa. (Björk ja Granèli 1978, Lipinsky 1978). Kasvien korjuun lisäksi myös kalastaminen muuttaa järvien ravinnetasapainoa: esim. Säkylän Pyhäjärven fosforisaannista kaksi kolmannesta fosforisaannista poistuu kalansaaliin mukana. Makrofytytien korjaaminen ei suurten määrien vuoksi ole realistinen käsittelyvaihtoehto.

Aktiivihiihliisuodatuksen on raportoitu USA:ssa poistavan jopa 99 % malakiittivihreästä (Marking *et al.* 1990), mutta menetelmä on harvoin käytetty johtuen menetelmän kalteudesta varsinkin käsiteltäessä suuria vesimääriä (Midlen ja Redding 1998). Lisäksi malakiittivihreän käytöstä ollaan luopumassa.

Umpikassilaitokset

Sekä Suomessa että ulkomailla on kokeiltu lietesuppiloita ja suljettuja muovikankaasta rakennettuja altaita eli umpikasseja. Pussin umpinaisuuden vuoksi kaikki syömättä jäänyt rehu ja kalojen ulosteet kertyvät pussin pohjalle, josta ne on esim. pumpaamalla määrääjain poistettava (Tiainen *et al.* 1996). Umpikassia ei voida sijoittaa tuulisille ja avoimille vesialueille. Kassi voidaan sijoittaa vain suhteellisen suojaisiin paikkoihin, jossa vesisyvyyttä on vähintään 10 m (Niinimäki *et al.* 1991).

Kirjolohen umpikassikasvatuksesta on tehty useita tutkimuksia (Taulukko 26). Tutkimustuloksiksi on raportoitu jopa 50 %:n fosfori- ja typpireduktioita mereen päätyvässä fosforimäärässä, mutta käytännössä arviot ovat turhan optimistisia. Menetelmä on vielä prototyyppivaiheessa, eikä sen kaikista ominaisuuksista olla tarkoin selvillä. Ahvenanmaalle on vuonna 1995 tehty kustannusarvio merellä sijaitsevalle umpikassilaitokselle, 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 umpikassilaitoksiin vaatisi 25 milj. markan suuruiset investoinnit, jolloin kustannusvaikutukset olisivat noin 5-6 mk/kg kalaa (Tiainen *et al.* 1996). Tämä on paljon suhteessa kirjolohen määrällä painotettuun markkinahintaan 19,20 mk/kg vuonna 1999, jonka kasvattajat saavat myydessään kalaa (Rossi 2000), varsinkin, kun elinkeinon kannattavuus on muutenkin ollut huono viime aikoina. Laskettuna 25 %:n saavutettavalla fosforireduktiolla ja 4 mk/kg lisänä tuotantokustannuksiin sisältäen sekä investointi-, että käyttökustannukset saadaan kustannuksiksi poistettua fosforikilogrammaa kohden 1600 mk.

Taulukko 26. Verkkokassi (VK)- ja yhden verkkoaitauslaitoksen (VA) lietteenpoiston vaikutus P-kuormitukseen ilmaistuna %-reduktiona kalaan sitoutumattomasta fosforista (Mustajärvi 1999).

Lähde	P-red.	Laitos	Mittakaava	Lietteen kerääjä
Leminen <i>et al.</i> 1986	24 %	VK	pienoismalli	kartio
Poutanen 1984	16 %	VA	laitosmittak.	Lieteaita ja pohjakaukalo
Sokka 1986	30 %	VK	laitosmittak.	suppilot
Karttunen 1986	15 %	VK	laitosmittak.	suppilot
KERA 1987	22 %	VK	laitosmittak.	suppilot
Niinimäki <i>et al.</i> 1991	34-40 %	VK	laitosmittak.	umpikassi
Paavo Ristola Oy 1995	32,1 %	VK	laitosmittak.	suppilot
Enell <i>et al.</i> 1984	90 %	VK	laitosmittak.	suppilot

Maalle rakennettu merilaitos

Maalle rakennettavilla laitoksilla vesi poistuu altaista kanavia tai putkia pitkin, jolloin poistovesien käsittely on mahdollista. Virtausnopeudet ovat yleensä kuitenkin hitaita, ja syntyvä liete laskeutuu pääosin kasvatusaltaan pohjalle. Altaiden pohjalle laskeutuneiden partikkeleiden poiston helpottamiseksi kasvatusaltaat tulisi rakentaa ns. itsepuhdistuviksi eli vastaamaan periaatteeltaan jäljempänä mainittua pyörreselkeytintä, jolloin lietteen laskeutumispaikka olisi määrätty. Laskeutuvien partikkeleiden poistolla arvioidaan päästävän 10-40 %:n puhdistustehoon kaloille syötetystä, mutta kasvuun sitoutumattomasta fosforista laskien (Tiainen *et al.* 1996). Liukoisen fosforin poistamiseen tarvitaan kemikaaleja.

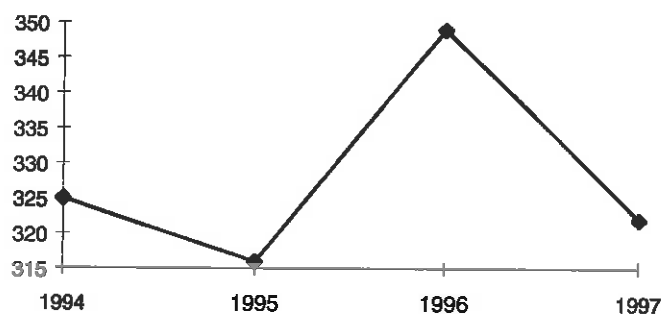
Norjaan on rakennettu vuosina 1988-1990 useita maalaitoksia. Laitokset ovat kalliita rakentaa, n. 2 milj. NOK/1 000 m³, siis noin 1,5 milj. mk/1 000 m³. Jotta tarvittava kannattavuus saavutettaisiin, tulee laitoksia käyttää intensiivisemmin kuin perinteisiä merilaitoksia, eli tuotanto tulisi olla 50-60 kg/m³ (Tvinnereim 1990). Islannissa maalle rakennetuissa kasvatuslaitoksissa on käytetty kasvatustiheytenä 25 kg/m³ ja Norjassa 70-90 kg/m³, jotkut ovat käyttäneet jopa 100 kg tiheyksiä, jolloin tuotantokustannukset alenevat merkittävästi tuotettua kiloa kohti (Forsberg 1990). Kokemukset ovat osoittaneet, että pienet laitokset eivät ole koskaan kannattavia. Tuotannon tulisi olla yli 500 t, jotta kannattavuus saavutettaisiin. Kokemukset Islannista eivät myöskään ole kovin optimistisia talouden ja kannattavuuden suhteen. Kaksi suurinta laitosta on mennyt konkurssiin (Braaten 1990). Mustajärven (1999) mukaan ison kirjolohen (1 kg) 18-asteisen veden tarve on 0,47 l/min kg, eli kalatonta kohden 7,8 l/s. Pienten kirjolohien (200 g) vedentarve on 0,65 l/min kg. Veden tarve kasvaa lämpötilan noustessa. Laskettaessa veden pumppauksen tarpeeksi 10 l/s tuotettua kalatonta kohti, saadaan pumppauskustannuksiksi 1,1 mk/kg olettaen nostokorkeudeksi 3 m ja energiahäviöt nollassi. 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 tekniikkiin ja taloudellisiin ongelmiin, sekä kalasairauksiin (SFT 1998).

Maalaitos on karkausvarma, joten ei ole vaaraa, että karannut sairas kala tartuttaisi viljelylohen tai villin kannan. Lisäksi maalaitoksessa kala kasvaa 30 metrin syvyydestä otetussa vedessä, joten se on vähemmän alttiina tartunnoille ja leville kuin kala, joka elää pintavedessä. Poistovesi voidaan myös johtaa syvemmälle, jolloin paikallisen likaantumisen vaara vähenee (Litlehammar 1990). Eräs maalaitoksen etu on luonnollisesti mahdollisuus puhdistaa vesi (Braaten 1990).

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). Vuonna 1983 Tanskassa oli toiminnassa seitsemän kiertovesijärjestelmää, joista neljä laitosmittakaavassa. Myös Ruotsissa kiertovesijärjestelmää on kokeiltu lohelle ja kirjolohelle lupaavin tuloksin. Korvausveden määrä on 240 t vuodessa tuottavalle laitokselle 4-5 m³/d ruotsalaisten laskelmien mukaan, Kalatiheys kiertovesijärjestelmissä voi olla suuri, Tanskassa suunnitteluarvot ovat vaihdelleet välillä 20-150 kg/m³. Investointikustannukset ovat suuret, ruotsalaisen tutkimuksen mukaan 200 t vuodessa kirjolohta tuottavan ja 850 000 kpl 50 g poikasta tuottavan laitoksen pääomakustannukset ovat vuodessa noin 4,5 milj. mk (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988). Kiertovesijärjestelmä edellyttää suurta laitospääomaa ja ympärivuotista laito toimintaa ollakseen taloudellinen. Suomen oloissa ratkaisevaa on taloudellinen energiansaanti. Pitkällä tähtäimellä veden kierrättäminen saattaa kuitenkin tarjota lupaavia näkymiä ja osaratkaisut saattavat olla mahdollisia jo nyt (Kananen ja Väyrynen 1989).

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. Istukaspoikasten kasvatuksessa kalanpoikaset istutetaan yleisimmin keväällä vastakuoriutuneena ja lasketaan syksyllä alapuoliseen vesistöön tai kuljetetaan istutusalueille. Luonnonravintolammikkohehtaari tuottaa yhdessä kesässä yleensä 10-75 kg eli noin 3 000-10 000 kpl 5-14 cm:n mittaisia 1-kesäisiä poikasia (Janatuinen 1992). Luonnonravintolammikkoviljely vähentää kalatautien vaaraa, koska tiheydet ovat pienempiä kuin laitoksissa (Hakulin 1992). Vuonna 1996 toiminnassa oli yhteensä 349 luonnonravintolammikkoa (Kalanviljely vuonna 1996).



Kuva 7. Luonnonravintolammikoiden määrät 1994-97 (Kalanviljely 1994-97).

Keinotekoiset riutat

Eräänä uutena kalankasvatuslaitosten jätevesien puhdistusmenetelmänä on esitetty ns. keinotekoisia riuttoja, jotka toimivat alustoina kovaan pohjaan kiinnittyvälle eliöstölle eli rihmaleville ja eräille selkärangattomille eläimille. Alustaan kiinnittyvä eliöstö suodattaa veteen liuennutta orgaanista ainesta sekä ravinteita, millä voi olla monia myönteisiä vaikutuksia veden laatuun ja alueen eliöyhteisöön. Tavoitteena on biofiltraatio, missä alustaan kiinnittynyt eliöstö suodattaa vedessä olevaa orgaanista ainesta sekä veteen liuenneita ravinteita (Hänninen 1996).

Taloudellisuuden vuoksi riuttojen rakennusaineksi kannattaa valita kaikkea käytöstä poistettavaa jättemateriaalia, jotka myös kestävät merivettä lahoamatta tai ruostumatta. 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 %, mikä tarkoittaa laitokohtaisesti Saaristomeren alueella vuosittain 6-20 kg:n fosfori- ja 450-950 kg:n typpireduktiota. Vaadittavan riutan suuruus olisi maksimissaan 55 000-120 000 m², todellisuudessa todennäköisesti kuitenkin huomattavasti pienempi (Hänninen 1996).

6.4 Valvonta

Kalankasvatuksen valvontaohjeessa (nro 39) on yleiset ohjeet kalankasvatuslaitosten valvonnasta. Siinä on suosituksia laitosten sijainnin ohjauksen periaatteista, yksikköjen koosta, suojelevesistöistä ja toimenpiteistä kuormituksen vähentämiseksi. Yksi-

tyiskohtaisemmin kalankasvatustoimintaa on ohjattu alueellisten vesiensuojelusuunnitelmien avulla (Tiainen *et al.* 1996).

Tavanomaisten verkkoallaslaitosten valvonnassa olennaiset ja vesistökuormituksen kannalta merkittävät tekijät ovat käytettävät rehumäärät ja rehujen ravinnepitoisuudet sekä rehuilla tuotettu lisäkasvumäärä. Kalankasvattamoiden lupaehtoihin kuuluu hoitopäiväkirjan pitäminen ympäristökeskuksen tai maakuntahallituksen hyväksymällä tavalla. Siihen on merkittävä vähintään toiminnan aiheuttaman kuormituksen laskemiseksi tarpeelliset tiedot, kuten käytetyt rehumäärät ja laadut sekä laitokselle tuodut ja pois viedyt kalamäärät, tautitapaukset, hoitotoimenpiteet ja kalakuolemat. Kasvatusmäärää ja rehunkäytön seuranta voidaan suorittaa laitteilla, joilla kasvattamoilla olevien kalojen keskipainon mittaaminen on mahdollista. Kulloisenkin vedenlämmön sekä ehkä happitilanteenkin mukaan tavanomaisista ruokintataulukoista voidaan seurata, että kalamassa, ruokintamäärät ja lisäkasvu seuraavat toisiaan. Varsinaisten toimintatietojen lisäksi valvontakohteena ovat laitosten sijainti ja rakenteiden mitat (Tiainen *et al.* 1996).

Maa-allaslaitoksilla riittävän tiheä näytteenotto sekä virtaamamittaus (tavoitteena alle 5 %:n mittausvirhe) ovat tärkeitä ja olennaisia osia luotettavassa kuormitustarkkailussa. Veden laatua seurataan yleensä kokoomänäyttein, joissa näytteenottojaksojen pituus tulee olla mielellään useita vuorokausia. Tärkein kuormitusparametri on kokonaisfosfori, jolle on usein vesioikeuden lupapäätöksissä annettuja raja-arvoja, mutta lisäksi voidaan määrittää myös muita kuormitusta kuvaavia laatusuureita. Näitä ovat lämpötila, pH, kokonaisfosfori, kokonaistyyppi, biologinen hapenkulutus, kemiallinen hapenkulutus, sähkönjohtokyky, fekaaliset koliformiset bakteerit, typpiyhdisteet, käytetyt kemikaalit ja lääkkeet. Vesitys ja sen valvonta voidaan suorittaa automaation avulla. Lisäksi pH:n happipitoisuuden ja pinnankorkeuksien jatkuva mittaaminen voidaan suorittaa kohtuullisin kustannuksin. Mittaustietoja voidaan käyttää toimilaitteiden ohjaamiseen (Tossavainen 1992).

Kuormitustarkkailussa olisi syytä myös ainakin kerran tutkia kullakin laitoksella vesiensuojelutoimien fosforinpoistoteho mittaamalla tarkasti poistettavat lietemäärät sekä analysoimalla lietteen fosforipitoisuus. Itse tekemiään tai sekoittamiaan rehuja käyttävät verkkokassilaitokset ovat velvollisia teettämään rehusta fosfori tai typpi-analyysyjä. Kalankasvatuksen vaikutuksia vesialueen yleisen tilan kehittymiseen voidaan seurata määrävuosin tehtävillä sopivaksi katsotuilla biologisia selvityksiä. Maalaitosten kuormitustarkkailujen tuloksista laaditaan kalenterivuositain vuosiraportti, verkkokassilaitokset taas toimittavat kuormituksen laskentaa varten tarvittavat tiedot vesija ympäristöpiireille vuosiraportointilomakkeilla. Vesistö tarkkailusta tehdään suppea vuosiraportti ja 3-5 vuoden välein perusteellinen raportti (Hakala *et al.* 1994).

Kalankasvatuksen ympäristönsuojelutoimien päätösanalyttisessä arvioinnissa esitetiin, että viranomaiset kokoaisivat yhteisen raportin kalankasvatustoiminnan vesistökuormituksesta ja sen mahdollisesti aiheuttamista ympäristövaikutuksista sekä tilanteen kehittymisestä ympäristöohjelman tavoitteen kannalta. Raportissa tulisi ottaa huomioon havaitut ympäristövaikutukset ja mahdolliset intressikonfliktit muiden vesistöjen käyttömuotojen kanssa (Tiainen *et al.* 1996).

6.5 Oikeudelliset ohjauskeinot

Kalankasvatuksen ympäristöohjauksen pääpaino on ollut oikeudellisten ohjauskeinojen toteuttamisessa. Ympäristöministeriö (1998) on luokitellut ympäristöpoliittiset ohjauskeinot taloudellisiin, tiedollisiin ja oikeudellisiin keinoihin. Ohjauskeinot voi jakaa myös staattisiin ja dynaamisiin. Staattisia ovat määräykset ja kiellot, dynaamisia taloudelliset ja tiedolliset keinot (Mäkinen 1998).

Ennakoilmoitusvelvollisuuden piiriin on saatettu yli 2 000 kg kuivarehua tai sitä ravintoarvoltaan vastaavan määrän muuta rehua vuodessa käyttävät kalankasvattamot tai laitokset, joissa kalan lisäkasvu ylittää 1 000 kg vuodessa (Räisänen 1992). Tällä hetkellä voimassa olevan lainsäädännön mukaan verkkoallaslaitos on ehdollisesti luvanvarainen yritys, jonka luvan tarve riippuu hankkeen seurauksista. Lähtökohtana on tapauskohtainen tarkastelu, oleellisina seikkoinaan sijoituskysymyksen ratkaiseminen ja purkuvesistön sietokyky (Hollo 1992). Luvat myönnetään määräaikaisina. Tavoitteellisenä lupakautena on 10 vuotta (Tiainen *et al.* 1996). Luvan myöntämiseen saattaa liittyä vesiensuojelu- tai kalatalousmaksuja, tai vesien pilaamisesta maksettavia korvauksia vahingon kärsijöille. Ahvenanmaan kasvattamoilla vesiensuojelumaksua ei ole vaadittu maksettavaksi, mutta rannikon kasvattamoilla se on ollut melkein pä säännömukainen vaatimus ja lupamääräys (Sahivirta ja Kärmeniemi 1998).

Ensisijaisesti kalankasvatuslaitokset ovat jätevesilupahakemuksia, mutta lisäksi voidaan tarvita vesiasetuksen 68 § edellyttämä vedenottolupa, ja joissain tapauksissa vesiasetuksen 66 §:n mukaisen säännöstelyhankkeen selvitykset tarvittavilta osin. Oleellisia käsitteitä lupakäytännössä ovat huolellisuusvelvoite, pilaamis- ja muuttamiskiellot, erikoistapauksena pienten vesien pilaamisen kieltä (VL 1:20). Vesilain 1:15:ta v. 1987 tehdyn tarkennuksen mukaan ns. rakenteellisen pilaantumisen, kuten patoamisen tai vedenjohtamisen synnyttävä luvantarve kuuluu muuttamiskellon piiriin. Vedenjohtamis- ja rakentamislupia ei yleensä tarvitse uusina, kun taas pilaamisluvat ovat joko määräaikaisia tai tarkistamisenvaraisia. Määräaikaiset luvat voidaan evätä jatkossa mm. tarkkailutulosten perusteella, kun taas tarkistamisenvarainen lupa yleensä on voimassa toistaiseksi ja sen määräyksiä ainoastaan tarkistetaan. Silti kumpaankin laitostyyppiin voidaan kajota olosuhteiden muuttuessa. Laitoksia laajennettaessa laajennusosia ei käsitellä lupateknisesti erikseen, vaan samassa vesistönosassa olevaa laitospokonaisuutta tulee harkita samassa menettelyssä. (Hollo 1992).

Valmisteilla olevan ympäristönsuojelulain 1 § momentin 2 mukaan kalankasvatus verkkoaltaassa on ympäristölupaviraston toimivaltaan kuuluva ympäristölupa-asia. Ominaiskuormitusta pyritään rajoittamaan hallinnollisilla määräyksillä ja rajoituksilla sekä yksityiskohtaisilla, toimintatapoihin puuttuvilla päätöksillä. Keskeisenä tavoitteena on lupajärjestelmän yhtenäistäminen. Ennakkovalvonnan piiriin kuuluvien toimintojen määrä pysyisi ennallaan nykytilanteeseen verrattuna. Erilliset sektorikohtaiset lupamenettelyt yhdenmukaistetaan ja lupamenettelyjen määrää vähennettäisiin sekä ilmansuojelu-, jäte-, terveydensuojelu-, naapurussuhde- ja vesilain mukaan luvanvaraiset tai vesiensuojelun ennakkotoimenpiteistä annetun asetuksen mukaiset ilmoituksenvaraiset toiminnot säädettäisiin pääsääntöisesti ympäristöluvan varaisiksi (Valtioneuvosto 1998).

Suomessa on voimassa seuraavat kalojen ja mädin siirtokiellot, jotka on annettu tarttuvien kalatautiin leviämisen ehkäisemiseksi (Rahkonen *et al.* 2000):

1. Elävien kalojen, mädin ja maidin kuljettaminen meri- ja rannikkoalueelta sekä mereen laskevasta joesta vaelluskalojen nousualueelta sisävesialueelle on kielletty. MMM:n eläinlääkintä- ja elintarvikeosasto myöntää lupia tietyin ehdoin vain erinäisistä syistä (mm. emokalastojen perustaminen).
2. Ahvenanmaalta rajoitetaan elävän kalan, mädin, perkausjätteiden ja kalanviljelyvälineiden sekä laitteiden kuljettamista muualle Suomeen. MMM:n eläinlääkintä- ja elintarvikeosasto myöntää lupia tietyin ehdoin.
3. Elävää kalaa ei saa siirtää muualta Suomesta Teno-, Näätämö-, Uutua, Paats- ja Luttojoen vesistöjen alueille.
4. Lohikalojen paisetautivapaille alueille rajoitetaan kalan, mädin ja maidin kuljettamista muualta Suomesta. Lupia myöntävät tietyin ehdoin ne työvoima- ja elinkeinokeskukset, joiden suoja-alueelle kalat, mäti tai maiti siirtyvät.

Lisäksi vuonna 2000 havaittiin Suomessa parilla laitoksella VHS-tautia, minkä johdosta maa- ja metsätalousministeriö antoi asetuksen rajoitusalueiden perustamisesta, jotka on rajattu 20 km:n päähän laitoksista, joissa tautia esiintyy. Asetuksen mukaan kalojen, niiden osien ja sukusolujen, kaloista peräisin olevan jätteen, kalanviljely- ja muiden mahdollisesti tartuntaa levittävien tavaroiden ja aineiden kuljetus rajoitusalueelle, sen rajojen yli tai sen kautta on kielletty.

Kaikkien Ahvenanmaalla sijaitsevan n. 50:n laitoksen luvat tulevat uusittaviksi seuraavan viiden vuoden aikana. Vuosien 1994-97 aikana vesioikeus ei hyväksynyt yhtään hakemusta sellaisenaan. Haettuja kasvatustilakantoja ei juuri sallittu ja myös haetun ja sallitun fosforin ja typen päästömäärissä oli eroja. Tapausaineistossa 74 % hakemuksista Saaristomerellä ja 76 % Ahvenanmaalla hyväksyttiin muutosten jälkeen. Paikallinen rehevöityminen on ollut harkintaperusteena Saaristomerta koskevissa päätöksissä huomattavasti useammin kuin Ahvenanmaalla, sillä Saaristomeri on jo muun kuormituksen johdosta rehevämpi ja laimenemisolosuhteet ovat huonommat kuin Ahvenanmaalla. Tapausaineiston keskimääräinen allastilavuus oli rannikolla 4 500 m³, 42 laitosta ja Ahvenanmaalla 15 000 m³, 21 laitosta. Sallittu lisäkasvu oli laitoksilla keskimäärin 46 t vuodessa ja Ahvenanmaalla 150 t vuodessa. Fosforin ja typen määrästä rehussa VO on antanut ehdottoman rajan, kun taas kasvatettavan kalan kilomäärät voidaan jossain määrin ylittää, kunhan ravinnemääriä ei ylitetä. Näin kasvattajilla on mahdollisuus ravinteiden kontrollilla ja "hyvällä ruokintakäytännöllä" saavuttaa suurempi kalankasvatustilavuus (Sahivirta ja Kärmeniemi 1998). Myös rehun ennakkokäsittelyä ja ylikuormituksen rajoittamista käytetään (Hollo 1992).

Vesistönsuojelun ympäristönsuojeluohjelmassa mainitaan myös laitosten sijainnin ohjaus toimintaan soveltuville vesialueille (Ympäristöministeriö 1998). Näin voidaan vähentää erityisesti kalankasvatuksen lähiympäristössään aiheuttamia haittoja ohjaamalla kalankasvatustoiminta etäälle meri- ja ranta-alueiden muista käyttäjistä (Tiainen *et al.* 1996). Sijainnin ohjaus mainitaan myös valmisteilla olevan ympäristönsuojelulain 6 §:ssä, jossa todetaan, että kaikki ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavat toiminnot tulisi mahdollisuuksien mukaan sijoittaa siten, että ympäristön pilaantuminen voidaan ehkäistä (Valtioneuvosto 1998). Saaristomerellä uusia lupia voidaan myöntää lähinnä ulkosaaristossa tai muutoin poikkeuksellisen edullisissa olosuhteissa toimiville laitoksille (Hakala *et al.* 1994). Ahvenanmaalla tämä onkin toiminut siten, että kalankasvatus on pyritty ohjaamaan sille parhaiten sopivalle vesistöalueelle. Kustavissa taas sijainnin ohjauksen ongelmana ovat olleet mökkiläiset. Näin ollen kalankasvatustiloja on sijoitettu sinne, minne lupia on myönnetty, vaikka paikat eivät välttämättä ole olleet parhaiten kalankasvatukseen soveliaita (Suominen 1999). Erilaisilla malleilla pystytään päättämään, millaiset alueet ovat soveliaita kalantuotantoon. Lisäksi voidaan arvioida karkeasti, minkälaisia typpi- ja fosforikuormituksia laitoksella olisi varaa aiheuttaa (Wallin ja Håkanson 1991).

Kalankasvatuksen ympäristönsuojelutoimien päätösanalyttisessä arvioinnin tavoitteena on muotoilla kalankasvatustoimintaa koskevat lupapäätökset sellaisiksi, että niillä kannustetaan yrittäjiä oma-aloitteisesti pyrkimään vesistöjä vähemmän kuormittaviin kasvatustilakantoihin. Yhtenäisillä kasvatusalueilla toimivien useimpien laitosten lupakaudet tulee pyrkiä saamaan yhteneviksi. Lupaehtojen määrä tulisi olla nykyistä vähäisempi ja itse ehtojen valvonnan kannalta selkeitä ja tulkinnaltaan yksinkertaisia (Tiainen *et al.* 1996).

7. Työllistävä ja taloudellinen merkitys

Vuonna 1987 tehdyssä RKTL:n selvityksessä kalanviljelyn suoran työllistävyyden arvioitiin koko maassa olevan noin 2000 henkilötyövuotta ja työllistävä vaikutus arvioitiin 2-3 kertaa suuremmaksi. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella sijaitsevat 1995 noin 140 kalankasvatustilasta joiden tuotanto oli noin 5 200 tonnia ja tuottajien arvo noin 230 miljoonaa markkaa. Huomattavan suuri osa kalankasvatustiloista sijaitsee syrjäkylissä tai muutoin saaristokuntien haja-asutusalueilla. Vuonna 1986 5,3 % tutkittujen saaristokuntien työvoimasta sai toimeentulonsa suoraan kalankasvatuksesta ja kunnissa saa nykyisin useampi toimeentulonsa kalankasvatuksesta kuin kalastuksesta. Ahvenanmaalla kalankasvatus työllistää kolmessa saaristokunnassa yli 10 % työvoimasta ja elinkeinon välillinen työllistävä vaikutus on lähes yhtä suuri kuin suoraan työllistävä vaikutus (Tiainen *et al.* 1996).

Salo *et al.* (2000) tutkivat kalanviljelyn taloudellisia, sosiaalisia ja ympäristöllisiä vaikutuksia alue- ja paikallistasolla. Varsinais-Suomessa kalankasvatuksen tuotannon arvo kerrannaisvaikutuksineen oli noin 220 miljoonaa markkaa, josta oman tuotannon arvo 140 miljoonaa markkaa.

Varsinais-Suomen työllistävyysvaikutukset olivat yhteensä 452 henkilötyövuotta. Kalankasvatuksen työllistävyysvaikutus oli 268 henkilötyövuotta ja muille toimialoille sen välittömät ja välilliset vaikutukset ovat 129 henkilötyövuotta. Työllistävyys vaihtelee alueittain; maakuntatasolla tarkasteltuna kalankasvatus ei nouse kovin merkittävään rooliin, mutta esim. Houtskarissa kalatalouden työpaikkojen osuus kunnan työpaikoista on 20,6 % ja Kustavissa 7,2 % (Salo *et al.* 2000).

Kiitokset

Tämän työn tekemiseen tarjosivat apuaan useat kalankasvatuksen ja siihen liittyviin tuotantoprosesseihin liittyvät henkilöt. Erityiset 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. Idea tämän julkaisun tekemisestä on koko Kalankasvatuksen elinkaaritarkastelu-hankkeen koordinaattorilta, Jyri Seppälältä.

Poikaskasvatukseen sekä lisäksi muihin kalankasvatukseen liittyviin asioihin sain runsaasti tietoa Yrjö Lankiselta Savon Taimen Oy:stä. Hän luki myös tämän teoksen muutamaaan 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 seikoista pyrittiin saamaan mahdollisimman ajankohtaisia ja todenmukaisia pienimuotoisella haastattelututkimuksella. Erityiskiitos myös tähän kyselyyn vastanneille, heitä ovat Markku Suominen Lännen puolen lohesta, Harri Sjöblom Ålands Fiskförädlingistä, 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 Erik Norrgårdin lisäksi seuraavat henkilöt: Risto Mattila, Timo Erkkilä, Tapio Tavenius, Terhi Sinisalo, Tapio Marttila, Ismo Pihlava ja Aimo Vasara. 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 valmistukselta saatiin Jyrki Viljakaiselta ja Seppo Sipilältä UPM-Rosenlew Oy:stä ja styrox-laatikoiden valmistuksesta Ari Sivulalta 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. Riku Hätälä Hätälä Oy:stä antoi runsaasti kalan jalostusta koskevia tietoja.

Tutkimuksessa kartoitettiin myös haitallisten aineiden pitoisuutta kalatuotteissa. Materiaalin hankkimisessa avustivat Pekka Vuorinen Riista ja kalatalouden tutkimuslaitokselta sekä Anja Hallikainen Eläinlääkintä- ja elintarvikevirasto EELA:sta. Kappaleita kuormitustilanne ja oikeudelliset ohjaukset kommentoivat toimitusjohtaja Kaisa Rossi Kalankasvattajaliitosta, ohjausryhmän puheenjohtaja apulaisjohtaja Osmo Purhonen Lounais-Suomen ympäristökeskuksesta ja Kari Ranta-aho Varsinais-Suomen TE-keskuksesta sekä Kimmo Silvo Suomen ympäristökeskuksesta.

Lähdeluettelo

- 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. Yliopistopaino Helsinki 1992. s.98-107.
- Ackefors, H. & Enell, M. 1990: Discharge of nutrients from Swedish fish farming to adjacent sea areas. *Amibo* 19(1): 28-35./ref. Ackefors, H. & Enell, M. 1994.
- Ackefors, H. & Enell, M. 1994. The release of nutrients and organic matter from aquaculture systems in Nordic countries. *J. Appl. ichtyol.* 10 (1994), 225-241.
- Ahvonon, A., Honkanen, A., Leinonen, K., Nylander, E., Savolainen, R., Söderkulta-lahti, P., Tuunainen, A.-L. & Vihervuori, A. 1997. Kalavirrat - tietoa kalan tarjonnasta ja käytöstä. Riistan ja kalantutkimus. *Ympäristö* 1997:13.
- Alabaster, J. S. 1982. Survey of fish-farms effluents in some EIFAC countries. In: J. S. Alabaster (ed.) Report of the EIFAC workshop on fish-farm effluents. EIFAC Tech. Pap. 41, FAO, rom:5-20/ref. Persson, G. 1987.
- Alabaster, J. S. & Lloyd, R. 1982. Water quality criteria for freshwater fish. 2nd ed. Butterworths, London, 361 pp./ref. Persson, G. 1987.
- Alfthan G., Männistö S., Valsta L. & Pietinen P. 1994. Naisten altistuminen ravinnon elohopealle Suomessa. *Elintarvikeviraston julkaisuja* 1/1994. Helsinki.
- Andersson, G., Granëli, W. & Stenson, J. 1988. Physiological disturbances in fish living in coastal water polluted with bleached kraft pulp mill effluents. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45 (9):1525-1536./ref. Tammi, J. 1996.
- Anon., 1992 Guidelines for the GM and handling of MA packed food products. Glos-estershire: Campden Food Research Association, Technical Manual No. 4. 79 p./ref. Randell, K. & Ahvenainen, R. 1994.
- Bergheim, A., Aabel, J.B. & Seymour, E.A. 1991. Past and present approaches to aquaculture waste management in Norwegian net pen culture operations, in *Nutritional Strategies and Aquacultural Waste* (eds C.B. Cowey & C.Y. Cho), Proceedings of the First International Symposium on nutritional Strategies in Management of Aquacultural Waste, University of Guelph, Ontario, Canada/ref. Midlen, A. & Redding, T.A. *Environmental Management for Aquaculture. Chapman & Hall Aquaculture Series 2.* London.
- Bergheim, A. & Asgard, T. 1996. Waste production from aquaculture, in *Aquaculture and Water Resource Management* (eds D. J. Baird, M.C.M. Beveridge & L.A. Kelly), Blackwell Science, Oxford/ref. Midlen, A. & Redding, T. A. 1998.
- Bergman, 1983. Kalanviljelylaitosten tekninen suunnittelu ja rakentaminen. Insinööri-järjestöjen koulutuskeskus INSKO 187-83. Insinööritieto Oy 1983.
- Bergman, E. 1991. Changes in abundance of two percids, *perca fluviatilis* and *Gymnocephalus cernuus*, along a productivity gradient: relations to feeding strategies and competitive abilities. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48.536-545./ref. Tammi, J. 1996.
- Beveridge, M.C.M. 1987. *Cage Aquaculture*, Fishing News Books, Oxford, 351 pp./ref. Midlen A. & Redding T.A. *Environmental Management for Aquaculture. Chapman & Hall Aquaculture Series 2.* London.
- Björk, S. & Graneli, W. 1978. Energy reeds and the environment. *Ambio* 7(4):150-156/ref. Puustinen, M. & Lindqvist, O.V. 1982.
- Björklund, H., Bondestam, J. & Bylund, G. 1990. Residues of oxytetracycline in wild fish and sediments from fish farms. *Aquaculture* 86: 359-367./ref. Braaten, B. 1992.

- Borum, K. Johansson, T., & Håkanson, L. 1995 Vildfiskens betydelse för spridningen av fosfor från fiskodlingar. *Vatten* 51:125-134./ref. Håkanson, L. 1995.
- Boulder, R., editor, 1985. World Soybean Research Conference III. Col. Westview 1985./ref. Cederberg, C. 1998.
- Braaten, B. 1990. Hva kan vi laere av uteladske erfaringer? 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.
- Braaten, B. 1992. Forurensing fra noedisk akvakultur - mengder, effekter og tiltak. En statusrapport på oppdrag fra Nordisk Vattengruppe/Nordisk Ministerråd. Nordisk Institut for Vannforskning, NIVA, Oslo, 3 mars 1992.
- Brabrandt, Å., Faafeng, B. A. & Nilssen, J. P. M. 1990. Relative importance of phosphorus supply to phytoplankton production: fish excretion versus external loading. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 364-372./ref. Tammi, J. 1996.
- Brocksen, R.W. & Bugge, J.P. 1974. Preliminary investigations of the influence of temperature on food assimilation by rainbow trout(*Salmo gairdneri* Richardson). *Aquaculture* 23:325-336/ref. Persson, G. 1987. Sambandet mellan föda, produktion och förorening vid odling av regnbåda (*Salmo gardneri*). Naturvårdsverket. Rapport 3382. Solna.
- 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.
- Christensen, K. & Horsed, J. 1991. Miljøbelasning fra havbrug of saltvandsdamsbruk. DFH Rapport 397. 90 pp./ref. Salo, H. & Sundell, P. 1996.
- Colby, P.J., Spangler, G.R., Hurley, D. A. & McCombie, A. M. 1972. Effects of eutrophication on salmonid communities in oligotrophic lakes. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 29:975-983/ref. Tammi, J. 1996.
- Colby 1993. Shelf-life of fish and shellfish. 1993. In: Charalambous, G. (ed.) Shelf-life studies of foods and bevarages. Amsterdam: Elsevier Science publishers. Pp. 85-143. ISBN 0-444-89459-4./ref. Randell, K. & Ahvenainen, R. 1994.
- Coutant, C.C. 1985. Striped bass, temperature and dissolved oxygen: a speculative hypothesis for environmental risk. *Trans. Am. Fish. Soc.* 114(1):31-61./ref. Tammi, J. 1996.
- Coutant, C.C. 1987. Thermal preference: when does an asset become a liability? *Env. Biol. Fish.* 18:161-172/ref. Tammi, J. 1996.
- Cripps, S. J. & Bergheim, A. 1997. Multi-stage waste reduction technology for land-based aquaculture. 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. 50-61.
- Direktoratet for Naturforvaltning 1999. Environmental objectives for Norwegian aquaculture. New objectives for 1998-2000. DN-rapport 1999-1b.
- Diehl, S. 1988. Foraging efficiency of three freshwater fishes: effects of structural complexity and light. *Oikos* 53:207-214./ref. Tammi, J. 1996.
- Ekholm, P. 1999. Uusi rehu vähentää fosforikuormituksen käyttökelpoisuutta leville. Suomen kalankasvattaja 2/1999, s. 44.
- Elintarviketeollisuusliitto 1994. Haarukkapaloja elintarviketeollisuudesta.
- Elintarviketeollisuusliitto 1995. Tilastokatsaus.

- Elintarvikevirasto 1992. Kirjolohi ravintona. Aistittava laatu, mikrobiologiset tekijät, ravintoarvo ja vieraat aineet. Elintarvikeviraston julkaisuja 13/1992. Helsinki.
- Enell, M., Löf J. & Björklund, T.-L. 1984. Fiskkasseodling med rening. Teknisk beskrivning och reningseffekt. - Limnologiska institutionen, Lund, 34 s./ref. Solander, D. 1987.
- Enell, M. 1985. Fosfor- och kvävebelastning från fiskodlingarskillnader mellan sjöar av olika trofigrad. Akvakultur iljöproblem (ref. Ackefors, H. & Enell, M. 1993)/ref. Salo, H. & Sundell, P. 1996.
- Enell, M. 1987. Environmental impact of cage fish farming with special references to phosphorus and nitrogen loadings. ICES 1987/F:44, ref MEQC /ref. Wallin, M. & Håkanson, L. 1991,.
- Eriksson, C. 1999. Flisö Fisk och Rönnäs 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.
- Ervik, A., Samuelsen, O.B. & Sørum, H. 1993. Environmental effects on medicines and chemicals. In: *Environmental effects of aquaculture. A Research Council of Norway research programme 1991-1993* (In Norwegian). Research Council of Norway/ ref. Direktoratet for Naturforvaltning 1999.
- Eronen U. 1999. KESKO Oy. Suullinen tiedonanto.
- Eskelinen, P. 1983. Fosforiainetase kirjolohella. Esitelmä Kuopion korkeakoululla 13.10.1983. Moniste. 10 s./ref. Mustajärvi, V. 1999.
- Eskelinen, P. 1988 Fosforin välitön liukeneminen veteen kalanrehuista ja kirjolohen ulosteesta./ref. Aarnipuro, Y. 1992.
- Eskelinen, P. 1992. Kalanviljelyn kemikaalit. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 42. Valtion kalanviljelyn XI neuvottelupäivät. Toim. Lavikainen, R. & Rahkonen, R. Yliopistopaino Helsinki 1992 s.34-39.
- Eskelinen, P. & Soivio, A. 1992. Genomimanipulaatiot istukasviljelyssä. 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. 86-91.
- Eskelinen, U. 1998. Kirjolohen jalostusohjelma ja sen tulokset. 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.6-8.
- EY-asetus 788/96/ref. Mäkinen, T. 1998.
- FAO 1986 The production of fish meal and oil. FAO fisheries technical paper 142, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome 1986.
- FAO 1992. FAO yearbook. Production. Vol. 45. 1991. Rome: Food and Agriculture organization of the United Nations (FAO Statistic series no. 104) /ref. Weidema, B. *et al.* 1995.
- Fauconneau, B., Koushik, S. J. & Blanc, J. M. 1989. Uptake and metabolism of dissolved components in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fry. Comp. Biochem. Physiol., 93 A:839-843. /ref. Ackefors, H. & Enell, M. 1994.

- Forsberg, O. I. 1990. Driftsplanlegging og økonomi i landbaserte anlegg. 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.
- From, J. & Rasmussen, G. 1984. A growth model, gastric evacuation, and body composition in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson 1836. Dana 3:61-139/ref. Persson, G. 1987.
- Granberg, K. 1995. Sinilevät suosivat emäksistä vettä. Suomen Luonto 8:34-37/ref. Tammi, J. 1996.
- 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. Yliopis-topaino Helsinki 1993.s. 31-37.
- Hall, P. O., Andersson, L. G., Holby, O., Kollberg, S. & Samuelsson, M- A. 1990: Chemical fluxes and mass balance in marine fish cage farm. I. Carbon. Mar. Ecol. Prog. Ser. 61:61-73. / ref. Ackefors, H. & Enell, M. 1994.
- Hallikainen, A. 2000. Polykloorattujen dioksiinien (PCDD) ja furaanien (PDF) määri-tys kudospäätteestä. Tutkimustuloksia, analyysit 21.7.-8.9.1999 Elintarvikevirasto. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Hallikainen, A. & Kiviranta, H. Dioksiinien saanti meillä ja muualla. Ympäristö ja terveys 31(2000)3:61-64.
- Hallikainen, S., Parmanne, R. & Soikkeli, M. L. 1987. Kalankasvatuksen vaikutus silakkasaaliisiin ja silakan esiintymiseen Turun merialueella. Kalankasvatuksen vaikutus silakkaan. Turun yliopiston Biologian laitoksen Julkaisuja n:o 12, Toim. Soikkeli M. Turku. 1987. S. 39-79.
- Hann, B. 2000. Squa Fish Farms. Suullinen tiedonanto./ref. Morgan, S. 2000.
- Harper, D. 1992. Eutrophication of freshwaters. Chapman & Hall, London. 327 pp./ref. Tammi, J. 1996.
- Hartmann, J. & Nümann, W., 1977. Percids of lake Constance, a lake undergoing eu-trophication. 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/rec_18-3.html 25.8.1999.
- Helminen, H., Juntura, E., Koponen, J., Laihonen, A. & Ylinen, H. 1998. Assessing of long distance background nutrient loading to the Archipelago Sea, Northern Baltic with a hydrodynamic model. Environmental Modelling & Software 13:511-518/ref. Honkanen, T. *et al.* 1998.
- Henriksson S.-H. 1991. Effects of Fish Farming on Natural Baltic Fish Communnities. 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.
- Hollo, E. J. 1992. Suomen kalanviljelylaitosten lupaehtojen perusteet. Pursiainen, M. & Rahkonen, R. Kalanviljely, vesiensuojelu ja valvonta. Kalanviljelyn XIV neuvottelupäivät. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 56. Yliopistopaino Helsinki 1992. s. 31-34.
- Honkanen, A. 1999. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. 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.
- Honkanen, T., Helminen, H. & Laihonon, P. 1999. Kalankasvatuksen vesistövaikutusten arviointi: erilaisten seurantamenetelmien vertailu Saaristomerellä. Vesitalous 40(1999)21-27.
- Horppila, J. & Kairesalo, T. 1990. A fading recovery: the role of roach (*Rutilus rutilus* L.) in maintaining high phytoplankton productivity and biomass in Lake Vesijärvi, southern Finland. Hydrobiologia 200/201: 153-165/ref. Tammi, J. 1996.
- Horppila, J. & Kairesalo, T. 1992. Impacts of bleak (*Alburnus alburnus*) and roach (*Rutilus rutilus*) on water quality, sedimentation and internal nutrient loading. Hydrobiologia 243/244.323-331.7ref. Tammi, J. 1996.
- Husell, P.-A. 1999 Ålands Forell AB. Kirjallinen tiedonanto 7.8.1999.
- Håkanson, L. 1995. Fiskodling och miljöeffekter I sköar - nya resultat motiverar nya bedömningsunderlag. Särtryck ur VATTEN 51:2,3,4:1995.
- Håkanson, L., Carlsson, L. & Johansson, T. 1995. Fiskodling som miljövård. Inst. För geovetenskap, Uppsala univ. Report, 19 s./ ref. Salo, H. & Sundell, P. 1996, Håkanson, L. 1995.
- Hänninen, J. 1996. Keinotekoisten riuttojen käyttö kalanviljelylaitosten ravinnepäästöjen vähentämisessä. Esiselvitys. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen monistesarja nro 10/96.
- Hätälä, R. 1999. Hätälä Oy. Kirjallinen tiedonanto 30.8.1999.
- Ilomäki, A 1999. Lannoitteiden valmistamisen elinkaari-inventaariotiedot. Referenssi-vuosi: lannoitetehdas 1998; rikkihappo, biotiitti, apatiitti ja fosforihappo 1996; muut raaka-aineet 1998. Henkilökohtainen tiedonanto. Kemira Engineering Oy.
- Isik, A., Sabanci, A. & Bascetincelik, A. 1989. Turkey. In Pick E., Noren O., Nielsen V. (eds.): Energy consumption and input-output relations of field operations. Rome: Food and Agriculture Organization of the united nations-. (CNRE Study no. 3; REUR Technical Series 10). /ref. Weidema, B. et al. 1995.
- Jaakkola, M. 1983. Ruokakalan perkaus- ja lajittelujärjestelmät. Kalanviljelylaitosten tekninen suunnittelu ja rakentaminen. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus INSKO 187-83. Insinööritieto Oy 1983.
- Jacobsen, P. & Berglind, L. 1988. Persistence of oxytetracycline in sediments from fish farms. Aquaculture Engineering 8: 209-216/ref. Braaten, B. 1992.
- 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.

- Johansson, M. 1986. Vattenkemisk undersökning av de landbaserade fiskodlingarna Anten och Älvkarleby. SNV PM 3183, 55 pp. /ref. Persson, G. 1987.
- Johnsen, F. & Wandsvik, A. 1991: The impact of energy diets for Atlantic salmon. Effects on pollution. Fish Nutrition in Practice (France), June 24-27, 1991 (Ed.) INRA, Paris 1993 (Les Colloques, No 61) pp. 391-401. /ref. Ackefors, H. & Enell, M. 1994.
- Juvankoski, N., Setälä, J., Honkanen, A., Saarni, K. & Mickwitz, P. 1998. Tukku- ja vähittäiskaupan näkemys kirjolohifileen kokonaislaadusta. Riista- ja Kalantutkimus, kalatutkimuksia 148. Helsinki 1998.
- Jäppinen, R. 1992. Laukaan keskuskalanviljelylaitoksen kokemuksia lohikalojen mädin desinfioinnista ja kylvetyksestä sekä poikasten kylvetyksistä. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 42. Valtion kalanviljelyn XI neuvottelupäivät. Toim. Lavikainen, R. & Rahkonen, R. Yliopistopaino Helsinki 1992 s.31-33.
- Kalan ulkomaankauppa 1999. Riistan- ja kalantutkimus 2000:10.
- 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.
- Kalanviljely 1999. Riistan- ja kalantutkimus, Ympäristö 2000:8.
- Kananen, P. & Väyrynen, T. 1989. Kalankasvatuksen vesiensuojeluongelmia selvitetty Mikkelin läänissä. Suomen Kalankasvattaja 3/1989: 35.37/ref. Salo, H. & Sundell, P. 1996.
- Kangas, P., Autio, H., Hällfors, G., Luther, H., Niemi, Å. & Salemaa, H. 1982. A general model of the decline of *Fucus vesiculosus* at Tvärminne, south coast of Finland in 1977-81. Acta Bot. Fennica 118:1-27/ref. Tammi, J. 1996.
- Karjalainen, M. 1993. Emokalojen ja mädin käsittelyn sekä haudonnan vaikutus mädin laatuun. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 60. Valtion kalanviljelyn XVII neuvottelupäivät 31.3.-1.4.1993, Tampere. Toim. Ruohonen, K. & Ruuhijärvi, J. Yliopistopaino Helsinki 1993, s. 37-42.
- Karlsson, O. 1999. Ålands Fiskodlarförening r.f. Suullinen tiedonanto 24.9.1999.
- Karttunen, E. 1986. Verkkoallaskasvatuksen vesistökuormituksen vähentäminen merialueilla. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskuksen (INSKO) kurssilla 15.-16.12.1986 (kalanviljelylaitosten vesistökuormituksen pienentäminen) pidetty esitelmä. 20 s /ref. Vesi- ja ympäristöhallitus 1988.
- Kaukoranta, E. 1998. Kuormitustilasto. Julkaisussa Kalankasvatuksen ympäristökuormitustavoitteet ja oikeudellinen ohjaus Saaristomerellä ja Ahvenanmaalla. Toim. Mäkinen, T. Suomen ympäristökeskuksen moniste 133., s. 16-19.
- Kaukoranta, M. 1993. Hormonien käyttö mädintuotannossa. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 60. Valtion kalanviljelyn XVII neuvottelupäivät 31.3.-1.4.1993, Tampere. Toim. Ruohonen, K. & Ruuhijärvi, J. Yliopistopaino Helsinki 1993. s. 22-29.
- Kaunismaa, P. & Bagge, P. 1983. Tyyrinvirran kalanviljelylaitoksen kuormitustarkkailun vuosiyhteenveto vuodelta 1982. - Jyväskylän yliopisto, Ympäristönsuojelukeskus, moniste, 4 s./ ref. Mäkinen, T. 1983.
- Kaushik, S. J. & Cowell, C. B. 1991: Dietary factors affecting nitrogen excretion by fish. In: Nutritional Strategies & Aquaculture Waste. Cowey, C. B., Cho, C. Y. (ed.) pp. 21-26 /ref. Ackefors, H. & Enell, M. 1994.

- Kehitysaluerahasto Oy. 1987. Kalanviljelyn verkkoallaskasvatuksen vesistökuormituksen vähentäminen. Tutkimus A 7:1987.73 s.
- Keto, J. 1985. Myrkylliset ja punaiset sinilevät Lahden Vesijärvessä. Ympäristö ja Terveys 1985(1): 37-40./ref. Tammi, J. 1996.
- Kiesvaara M., Heiniö R.-L., Mustaranta A., Hattula T., Vartiainen T. & Hallikainen A. 1992. Silakka ravintona. Elintarvikeviraston julkaisuja 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.
- Kiviranta, H., Korhonen, M., Hallikainen, A. & Vartiainen, T. 2000. Dioksiinien ja PCB:iden kulkeutuminen ihmiseen. Ympäristö ja terveys 31(2000)3:65-69.
- 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., Vielma, J. & Bornberg, J. 1998. Aminohappo- ja fytaasilisäyksiä vaikutus kirjolohen kasvuun ja rehun käyttöön. Riistan- ja kalantutkimus, Laukaa 1998.
- Kupka-Hansen, P. K., Pittman, K. & Ervik, A. 1991. Organic Waste from Marine Fish Farms - Effects on the Seabed. *Marine Aquaculture and Environment*. Toim. Mäkinen, T. Nord 1991:22. Nordic council of Ministers, Copenhagen 1991, s. 105-119.
- Kärnä, L. 1999a. Norset. Kirjallinen tiedonanto 2.7.1999.
- Kärnä, L. 1999b. Norset. Suullinen tiedonanto 12.7.1999.
- Laine J.J. 1983. Kalan laatuvaatimukset. Ympäristö ja terveys 5/1983, s. 280-287./ref. Juvankoski *et al.* 1991.
- Lammens E. H. R. R. 1989. Causes and consequences of the success of bream in Dutch eutrophic lakes. *Hydrobiological Bulletin* 23.11-18/ref. Tammi, J. 1996.
- Lankinen, Y. 1999. Savon Taimen Oy. Suullinen tiedonanto 10.8.1999.
- Lankinen, Y. 2000. Savon Taimen Oy. Kirjallinen tiedonanto 12.9.2000.
- Latostenmaa, H. 1983. Lietteen hyödyntäminen maataloudessa. - Esitelmä INSKON kurssilla: Lietteen käsittely ja hyödyntäminen, 21.-23.11.1983, 7 s.
- Latvala, A. 1987. Jäteveden maasuodatuksen ja imeytyksen tukkeutuminen. *Vesitalous* 1987:6. S. 6-10./ref. Vesi- ja ympäristöhallitus, 1988.
- 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.
- Leach, J. H., Dickie, L.M., Shuter, B.J., Borgmann, U., Hyman, J. & Lysack, W. 1987. A review of methods for prediction of potential fish production with application to the Great Lakes and Lake Winnipeg. *Can J. Fish. Aquat. Sci.* 44 (Suppl. 2):471-485.
- Lee, G. F., Jones, P. E. & Jones, R. A. 1991. Effects of eutrophication on fisheries. *Reviews in aquatic Sciences*, 5 (3-4):287-305./ref. Tammi, J. 1996.
- Lekang, O. I. & Færa, S. O. 1995. Akvakulturteknikk. Landbruksforlaget, in press (in Norwegian). /ref. Lekang, O. I. *et al.* 1997.
- Lekang, O. I., Skjelhaugen, O. J. & Jenssen, P. D. 1997. Local ecological solution for treatment of waste water from aquaculture. 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. 50-61.

- 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.
- Lillsunde, I. 2000. Varsinais-Suomen TE-keskus. Kirjallinen tiedonanto 4.7.2000.
- Liltvedt, H., Vethe, K. & Øren, K. 1991, kalkstabilisering og kondisjonering av slam fra fiskeoppdrett. NIVA-Rapport, O-86085. ISBN'82-577-1874-2. 19 pp. In *Norwegian*./ref. Cripps, S. J. & Bergheim, A. 1997.
- Lindeijer, E. W. & Meeusen 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, s. 149-160.
- Lindeström, L., Norden, U., Tyler, G. 1988. Zink i miljön. En kunskapöversikt sammanställd för projektområdet "Metallers påverkan på den yttre miljön". SNV Rapport 3429./ref. Uotila, J. 1991.
- Lipinsky, E.S. 1978. Fuels from biomass: Integration with food and materials system. *Science* 199:644-651 /ref. Puustinen, M. & Lindqvist, O.V. 1982.
- Litlehammar, L. 1990. Dift og økonomi. Lukkede prodksjonsanlegg for laksefisk (lo-hikalojen 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.
- Maa- ja Metsätalousministeriö 1987. Työryhmämuistio 1987:1. Tuoreen kalan kuljetusjärjestelmän kehittäminen.
- 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.
- Marking, L. L., Leith, D. & Davis, J. 1990. Development of a carbon filter system for removing malachite green from hatchery effluents. *Progressive Fish Culturist* 52, 92-99./ref. Midlen, A. & Redding, T. A, 1998.
- Mattila, R. 1999. Rehuraisio Oy. Suullinen tiedonanto 6.7.1999.
- Marttila, T.1999. Rehuraisio Oy. Suullinen tiedonanto 27.7.1999.
- Meng, H. J. & Müller, R. 1988. Assessment of the functioning of a whitefish (*Coregonus sp.*) and char (*Salvelinus alpinus* L.) spawning ground modified by gravel extraction. *Finnish Fish. Res.* 9:477-484 /ref. Tammi, J. Rehevöitymisen vaikutukset kaloihin, kalakantoihin ja kalastukseen. Kirjallisuuskatsaus. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia 103. Helsinki 1996.
- 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 sijainninohjauksen avulla. Suomen kalankasvattaja 4/1993, s. 21-22/ref. Salo H. & Sundell P. 1996.
- Morgan, S. 2000. Greenhouse removes phosphorus from hatchery wastewater. *Northern Aquaculture*, 6(2000)5:15.

- Murai, T., Ogata, H., Takeuchi, T., Watanabe, T. & Nose, T. 1984: Composition of free amino acids in excretion of carp fed amino acids diets and casein-gelatine diets. *Bull Jpn. Soc. Sci. Fish.* 50:1957 /ref. Ackefors, H. & Enell, M. 1994.
- Mustajärvi, V. 1983. Kalanviljelylaitosten tekninen suunnittelu ja rakentaminen. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus INSKO 187-83. Insinööritieto Oy 1983.
- Mustajärvi, V. 1999. Kalanviljelytekniikka. Riista- ja kalareportteja 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.
- Mustonen, R. 1992. Kirjolohi ravintona. Tuotantohygienia. Elintarvikeviraston julkaisuja 12/1992. Helsinki.
- Müller, R. 1992. Trophic state and its implications for natural reproduction of salmonid fish. *Hydrobiologia* 243/244:261-268./ ref. Tammi, J. 1996.
- Myllylä, E-K. 1976. Kalatalouden aiheuttamista jäteongelmista. Pro-gradu-työ. Helsingin yliopisto, limnologian laitos. 76 s./ ref. Puustinen, M. & Lindqvist, O.V. 1982.
- Mäkelä, P. 1999. Suullinen tiedonanto 1999./ref. Remes, M. 1999.
- 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. 1986. Pyörreselkeytin ja lietteen jatkokäsittely. INSKO:n kurssilla 15.-16.12.1986 (Kalanviljelylaitosten vesistökuormituksen pienentäminen) pidetty esitelmä. 22 s./ref. Vesi- ja ympäristöhallitus 1988.
- Mäkinen, T. 1987. Porraskosken koekalanviljelylaitoksen pyörreselkeyttimen toimivuuden tutkimus. Helsinki. RKTL, kalanviljelyosasto. Monistettuja julkaisuja 73, s. 189-212./ref. Mäkinen T. 1992b.
- Mäkinen, T. 1991. Nutrient load from Marine Aquaculture. *Marine Aquaculture and Environment*. Toim. Mäkinen, T. Nord 1991:22. Nordic council of Ministers, Copenhagen 1991, s. 1-8.
- Mäkinen, T. 1992a. Malli kalanviljelyn kuormitusten vaikutusten arvioimiseksi merialueella. *Vesitalous* 33(2): s. 36-38.
- Mäkinen, T. 1992b. Kalanviljelyn kuormitus Suomessa. Pursiainen, M. & Rahkonen, R. Kalanviljely, vesiensuojelu ja valvonta. Kalanviljelyn XIV neuvottelupäivät. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 56. Yliopistopaino Helsinki 1992, s. 19-24.
- 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.
- Mäkinen, T. 1998. Kalankasvatuksen ympäristöasioiden yhteiskunnallinen ohjaus. *Vesitalous* 39:5 s. 23-26.
- Mäkinen, T. 1999. Suullinen tiedonanto VI 1999.
- Mäkinen, T. & Kaukoranta, E. 1998. Valtakunnallisten tilastojen vertailu ja virhelähteet. Julkaisussa Kalankasvatuksen ympäristökuormitustavoitteet ja oikeudellinen ohjaus Saaristomerellä ja Ahvenanmaalla. Toim. Mäkinen, T. Suomen ympäristökeskuksen moniste 133., s. 16-19.

- Naukkarinen, M. 1983. Kalanviljelylaitoksen perusparantaminen. Kalanviljelylaitosten tekninen suunnittelu ja rakentaminen. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus INSKO 187-83. Insinööritieto Oy 1983.
- Nevalainen, M. 1999. Eläinlääkintä- ja elintarvikelaitos EELA. Kirjallinen tiedonanto 27.7.1999.
- Niinimäki, J., Korhonen, K., Ihalainen, E. & Junna, J. 1991. Tutkimus kirjolohirehun kuormitusvaikutuksista umpikassikasvatuksessa 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.
- Nurmi, K. 1999. Lounais-Suomen ympäristökeskus. Suullinen tiedonanto 24.9.1999.
- Nylander, E. 1998. Kalatalous tilastoina 1997. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Helsinki. 1998.
- 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.
- Nylander, E. & Vihervuori, A. 1997. Kalan tarjonta 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/ ref. Tammi J. 1986.
- Oil World no 23, vol. 40, Oct/Aug, 96/97. /ref. Cederberg, C. 1998.
- Olsson, T.I. & Persson, B.-G. 1986. Effects of gravel size and peat material concentrations on embryo survival and alevin emergence of brown trout, *Salmo trutta* L. Hydrobiologia 135:9-14/ref. Ovaskainen, R. 1983.
- Orakoski, H. 1999. Oriola Oy. Suullinen tiedonanto 23.8.1999.
- Ovaskainen, R. 1983. Kalaviljelylaitosratkaisut. Kalanviljelylaitosten tekninen suunnittelu ja rakentaminen. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus INSKO 187-83. Insinööritieto Oy 1983.
- Paavo Ristola Oy 1998. Ravinnekuormituksen vähentäminen kalojen verkkoallaskasvatuksessa. MMM 12189.
- Palm, T. 1985. The potential impact of heavy metal concentrations in the waters of the Southern Gulf of Finland on Baltic herring stocks. Finnish Fisheries Research 6, 71-76/ ref. Uotila, J. 1991.
- Parmanne, R. 1996. Rehukalastuksen vaikutus silakkakantoihin. Riista- ja Kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia 115. Helsinki 1996.
- Parviainen, T. 1999. Etelä-Suomen Läänineläinlääkäri. Suullinen tiedonanto 20.8.1999.
- Pasanen, P. & Juntunen, K. 1993. Emokalojen ja mädintuotannon säätely ympäristötekijöiden avulla. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 60. Valtion kalanviljelyn XVII neuvottelupäivät 31.3.-1.4.1993, Tampere. Toim. Ruohonen, K. & Ruuhijärvi, J. Yliopistopaino Helsinki 1993. s.11-15.
- Pedersen, A. 1982. Miljøpåvirkning fra fiskeoppdrett. Norsk institutt for vannforskning, F 430, Oslo 153 pp./ref. Persson, G. 1987.
- Pedersen, A. 1983. Miljøpåvirkning fra fiskeoppdret, NIVA-rapport FP 80802. NIVAs hustrykkeri 1982/ ref. Kehitysaluerahasto 1987.

- Persson, G. 1986. Kassodling av regnbåge; Närsattemissioner och miljö vid tre odlingslägen längs Smålandskusten. Naturvårdxverket. Rapport 3215. Solna.
- Persson, G. 1987. Sambandet mellan föda, produktion och förorening vid odling av regnbåde (*Salmo gairdneri*). Naturvårdsverket. Rapport 3382. Solna.
- 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. & Håkanson, L. 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, J. 1991. An operative system for coastal water planning. Nord 22 :25-38./ref. Mäkinen, T. 1992.
- 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.
- Persson, L., Johansson, L., Andersson, G., Diehl, S., & Hamrin, S.F. 1993. Density dependent interactions in temperate lake ecosystems. Whole lake perturbation experiments. Copenhagen. Oikos 66:193-208./ref. Tammi, J. 1996.
- Persson, L. & Eklöv, P. 1995. Prey refuges affecting interactions between piscivorous perch and juvenile perch and roach. Ecology 76:70-81./ref. Tammi, J. 1996.
- Petersson, K. 1988. The mobility of phosphorus in fish-food and fecals. Verh. Internat. Verein. Limnol., 23, 200-206./ref. Wallin, M. & Håkanson, L. 1991.
- Phillips, A. M., 1969. Nutrition, digestion, and energy utilization. In W.S. Hoar & D. J. Randall (eds.) Fish Physiology Vol. 1, pp 351-432, Academic Press, New York./ref. Persson, G. 1987.
- Pihlava, I. 1999. Rehuraisio Oy. Suullinen tiedonanto 27.7.1999.
- Pilesjö, P., Persson, P. & Håkanson, L. 1991. Digital skjökortsinformation för beräkning av kustmorfometriska parametrar och ytvattnets utbydestid. SNV Rapport 3916, Solna 76 s./ref. Mäkinen, T. 1992a.
- Poutanen, M. 1984. Loppuraportti Hopealohen vesientutkimusohjelmasta kesällä 1983. Käsikirjoitus. 10 s./ref. Mustajärvi, V. 1999.
- Pursiainen, M. 1983. Kalanviljelyallas ja sinne luotavat olosuhteet istukaskasvatuksessa. Kalanviljelylaitosten tekninen suunnittelu ja rakentaminen. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus INSKO 187-83. Insinöörיתיeto Oy 1983.
- 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.
- Puustinen, J. 1990. Typen merkitys rannikkovesien rehevöitymisessä. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A 58./ref. Salo, H. & Sundell, P. 1996.
- Puustinen, M. & Lindqvist, O.V. 1982. Kalanviljelylaitosten ravinnepäästöt ja niiden vähentäminen, biomassa ravinteiden sitojana, Soveltavan eläintieteen laitos, Kuopion korkeakoulu, Kuopio 1982.
- Pölönen, I. 1999. Turkistuottajien keskusliitto. Suullinen tiedonanto 15.9.1999.
- Pönni, J. 1998a. Silakka. Riistan- ja kalantutkimus, Ympäristö 1998:13. Kalavarat s. 2-6.
- Pönni, J. 1998b. Kilohaili. Riistan- ja kalantutkimus, Ympäristö 1998:13. Kalavarat s. 7-9.

- Rahkonen, R., Vennerström, P., Rintamäki-Kinnunen, P., Kannel, R. & Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos 2000. Terve kala. Tautien ennaltaehkäisy, tunnistus ja hoito. Nykypaino, Helsinki 2000.
- Randell, K. & Ahvenainen, R. 1994. Retail packaging of fresh fish. VTT Tiedotteita 1603. Espoo 1994.
- 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.
- 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.
- 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, Antti. 1999a. Werner Oy. Kirjallinen tiedonanto 2.7.1999.
- Rintaharri, Antti. 1999b. Suullinen tiedonanto 14.7.1999.
- Rissanen, I. 1998. Jalostetun kirjolohen levitys tuotantoon. 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.9-11.
- Roinila, P. & Räikkönen, P. 1996. Kalan kompostointi ja kalakompostin käyttö lannoitteena. Mikkelin maaseutuelinkeinopiiri, Kalatalouden vastuualue. Maa- ja Metsätalousministeriö, Kala- ja riistaosasto. Kala- ja riistahallinnon julkaisuja Nro 25 Helsinki 1996.
- Rosenthal, H., Weston, D., Gowen, R. & Black, E. 1988: Report of the ad hoc Study 'Environmental Impact of Mariculture'. Coop. Res. Rep- No- 154, ICES. 83 pp. /ref. Ackefors, H. & Enell, M. 1994.
- 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.
- Ryder, R. A. 1981. Eutrophication effects on fisheries - the horns of a dilemma. Water Quality Bull. Vol. 6, no. 3:84-88/ref. Tammi, J. 1996.
- Räisänen, S. 1992. Kalanviljelyn vesioikeudelliset edellytykset. Uusi vesilaki, -asetus ja kalanviljely. Pursiainen M. & Rahkonen R. Kalanviljely, vesiensuojelu ja valvonta. Kalanviljelyn XIV neuvottelupäivät. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 56. Yliopistopaino Helsinki 1992. s. 25-30.
- Räisänen, T. 1999. AGA Oy. Suullinen tiedonanto 13.9.1999.
- Sahivirta, E. & Kärmeniemi, T. 1998. Kalankasvatuksen yhteiskunnallinen sääätely. Julkaisussa Kalankasvatuksen ympäristökuormitustavoitteet ja oikeudellinen ohjaus

- Saaristomerellä ja Ahvenanmaalla. Toim. Mäkinen, T. Suomen ympäristökeskuksen moniste 133., s. 16-19.
- Salo, H. & Sundell, P. 1996. Kalanviljelyn vesistövaikutukset ja niiden vähentäminen. Kirjallisuusselvitys. Suomen kalankasvattajaliitto. Keuruuprint 1996.
- Salonen, S., 1983: Kalanviljelylaitosten kuormituksen tarkkailumenetelmien arviointi. – Esitelmä kalanviljelylaitosten vesistövaikutusten tutkimusten koordinoitukokouksessa Tampereella 14.11.1983./ref. Mäkinen T., 1983.
- 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.
- Selin, P., Kaunismaa, P. & Nousiainen, O. 1981. Vertaileva rehukoe lietettä erottavassa uudessa kasvatusallastyypissä Hankakosken kalanviljelylaitoksella kesällä 1981. Moniste, 16 s./ref. Mustajärvi V. 1999.
- Selänne, A., Mäkinen, T. & Helkiö, R. 1983. Kalankasvatusliete ja sen jatkokäsittely. - Vesihallituksen monistesarja 1983:173./ ref. Mäkinen, T. 1992b.
- Selänne, A. 1988. Maapohjaisten kalankasvatusaltaiden vesistökuormituksen vähentäminen. Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallitus. Raportti n:o 91. 138 s./ref. Aarnipuro, Y. 1992.
- Selänne, A. & Lindgren, S. 1984. Kalankasvatusaltaiden lietteenpoisto alipainejärjestelmällä. Vesihallituksen monistesarja 1984:223. Jyväskylä. 25 s./ref. Leminen, E. *et al.* 1986.
- Setälä J. & Honkanen A. 2000. Suullinen tiedonanto VII.2000.
- 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.
- Silvo, K. 1999. Suomen ympäristökeskus. Kirjallinen tiedonanto 10.11.1999.
- Sipilä, S. 1999. UPM-Rosenlew Oy. Kirjallinen tiedonanto 13.10.1999.
- Sivonen, K. 1990. Toxic cyanobacteria in Finnish fresh waters and the Baltic Sea. Reports from Department of Microbiology, University of Helsinki, 39:1-87./ref. Tammi, J. 1996.
- Sivula, A. 1999. Peterson Walki Oy Kirjallinen tiedonanto 23.9.1999.
- Sjöblom, H. 1999. Ålands Fiskförädling. Kirjallinen tiedonanto 7.8.1999.
- Skjølstrup, J., Nielsen, P. H., Freier, J. I. & McLean, E. 1997. Biofilters in recirculating aquaculture systems: state of the art. 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. 33-49.
- Soivio, A. 1993. Emokalojen ja mädintuotannon säätely ympäristötekijöiden avulla.
- Sokka, T. 1986. Kalan verkkoallaskasvatuksen vesistökuormituksen vähentäminen. Diplomityö. Tampereen TKK/ref. Niinimäki, J. *et al.* 1991.

- Solander, D. 1987. Fiskkasseodling med rening en oppfølging av trattmetoden. Naturårdsverket. Rapport 3419. Solna.1987.
- Solberg, S.O. 1985. Foder og fodring. Dansk Ørredfoder A/S, Brande, 33 pp./ref. Persson, G. 1987.
- Stevik, T. K. & Lekang, O. I. 1995. Oppdrett iferskvann,- potensialer, konflikter og mulige løsninger. I: Spredning av ferskvannorganismer, seminarreferat, DN-notat 1995-4:80-85. Direktoratet for Naturforvaltning, Trondheim./ref. Lekang, O.-I., *et al.* 1997. s. 62-71.
- Stigebrandt, A. 1986. Modellberäkningar av en fiskodlings miljöbelastning. Norsk institut for vannforskning NIVA O-86004. Göteborg 14.2.1986.
- Storebakken, T. & Olsen, R.A. 1982. Hvor farlig er opphopning av fôrspill og gjødsel under maerene? Norsk Fiskeoppdrett 2:1/ref. Persson, G. 1988.
- Sumari, O., Mäkinen T., & Eskelinen, P. 1982. Laukaan keskuskalanviljelylaitoksella EWOSL 119/80 ja S80 rehuilla vuonna 1981 suoritettu lohen ruokintakoe. Moniste. 11 s./ref. Mustajärvi V. 1999.
- Suomen Kalankasvattajaliitto ry. 1998. Tuottajakokous 25.3.1998. Kalaviikko. Maa-riianhamina.
- Suominen, M. 1999. Lännen Puolen Lohi. Suullinen tiedonanto 28.7.1999.
- 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.
- 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.
- 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.
- Thorpe, J. E., Talbot, C., Miles, M. S., Rawlings, C., Keay, D. S., 1990. Food consumption in 24 hours by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a sea cage. Aquaculture 90:41-47. /ref. Ackefors, H. & Enell, M. 1994.
- Tiainen, V.-M., Nurmi, K. & Wideskog, M. 1996. Kalankasvatuksen ympäristöohjelma 1996-2005. Saaristomeri, Selkämeren rannikko ja Ahvenanmaa. Suomen ympäristökeskuksen moniste nro 14. 1996.
- Tossavainen, S. 1992. Automaation mahdollisuudet vesityksen ja kuormituksen valvonnassa. Pursiainen M. & Rahkonen R. Kalanviljely, vesiensuojelu ja valvonta. Kalanviljelyn XIV neuvottelupäivät. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia No 56. Yliopistopaino Helsinki 1992. s. 59-73.
- 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.
- Uotila, J. 1991. Metal Contents and Spread of Fish Farming Sludge in Southwestern Finland. Marine Aquaculture and Environment. Toim. Mäkinen, T. Nord 1991:22. Nordic council of Ministers, Copenhagen, 1991, s. 121-126.

- Valtioneuvosto 1998. Ehdotus hallituksen esitykseksi ympäristönsuojelu- ja vesilainsäädännön uudistamiseksi. 30.9.1998.
- 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.
- Vasara, A. 1999. Rehuraisio Oy. Suullinen tiedonanto 17.8.1999.
- Verta M. & Rekolainen S. 1994. Ilmaperäisen elohopean, metsäojituksen ja tekojärvien rakentamisen vaikutus kalojen elohopeapitoisuuteen. Vesihallituksen monistesarja 1985;320:1-42/ref. Alfthan, G. *et al.* 1994.
- Vesihallitus 1980. Kalankasvatustoimintaa koskeva valvontaohje n:o 39. Moniste, 9 s + liite.
- 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.
- Viljanen, J. 1999. UPM-Rosenlew Oy. Suullinen tiedonanto 18.8.1999.
- Vinitnantharat, S., Gravningen K., & Greger, E. 1999. Advances in Veterinary Medicine. Volume 41. Fish Vaccines. In Veterinary Vaccines and Diagnostics, s. 539-551.
- 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. & Håkanson, 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.
- Wallin, M., Håkanson, L. & Persson, J. 1992. Belastningsmodeller för näringsutsläpp i kustvatten. - speciellt fiskodlingars miljöpåverkan. Nordiska ministerrådet, 1992:502,207 sid. /ref. Håkanson, L. 1995.
- Wang, J.-W. (ED.) 1993. Techniques for Modern Aquaculture. Proceedings of an Aquacultural Engineering Conference, 21-23 June 1993, Spokane, Washington, USA. American Society of Agricultural Engineers: St Joseph, Michigan, USA. 604 pp./ ref. Cripps, S. J. & Bergheim, A. 1997.
- Welch, E. B. 1980. Ecological effects of waste water. Cambridge University Press, Cambridge. 337 p./ref. Tammi, J. 1996.
- Weidema, B., Pedersen, R. L., Drivsholm, T. S. 1995. 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, O. 1999. Elintarvikevirasto, Eläinlääkintä- ja elintarvikelaitos EELA, Suullinen tiedonanto 26.7.1999.
- Wernvall, S. 1983. Veden lämmittäminen sekä lämmöntalteenotto kalanviljelyssä. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus INSKO 187-83. Insinööritieto Oy 1983.

White, R., 1990. MA packaging and the environment. In: International Conference on Modified Atmosphere Packaging. Part I. Stratford upon Avon, 15-17 October 1990. Gloucestershire: Campden Food & Drink Research Association. 10 p./ref. Randell, K. & Ahvenainen, R. 1994.

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

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

Wihlman, H. 1999b. Kalojen lääkinnän uhkakuvat. Suomen Kalankasvattaja 28(1999):41-44.

Wiman, M. Bakteriesproidning från fiskodling. Naturvårdsverket Rapport 3450. Solna. 1987.

WHO 1976. Environmental health Criteria 1. Mercury. Geneva: World Health Organization 1976.

WHO 1990. Environmental health Criteria 101. Methylmercury. Geneva: World Health Organization 1990.

WorldFish report 1998. Norwegian farmed fish output expands sharply despite quotas, Suppliers and Prices, p. 1-2, July30, 1998. /ref. Mäkinen, T. ja Kaukoranta, E. 1998.

Ympäristöministeriö 1998. Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005. Suomen ympäristö 226. Ympäristöministeriö. Ympäristönsuojeluosasto. Helsinki 1998.

Zeitoun, I.H., Tack P.L., Halver J.E. & Ullrey D.E. 1973. Influence of salinity on protein requirements of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fingerlings. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 30, 1867-1873/ref. Mäkinen, T. 1991, s. 1-8.

Öström, O. Brändö Lax. Suullinen tiedonanto 28.7.1999.