

KALA- JA RIISTARAPORTTEJA nro 394

*Jouni Vielma
Markus Kankainen
Jari Setälä
Martti Naukkarinen
Juha Koskela*

Fosforikuormituksen alentamisen yritystaloudelliset vaikutukset kirjolohen kasvatuksessa sisävesialueella

Helsinki 2006

Jouni Vielma, Markus Kankainen, Jari Setälä, Martti Naukkarinen ja Juha Koskela

Fosforikuormituksen alentamisen yritystaloudelliset vaikutukset kirjolohen kasvatuksessa sisävesialueella

Raportti

Uusi aalto - Kalankasvatuksen monipuolistuva tuotevalikoima ja uudet teknologiset tuotantoratkaisut

Kalankasvatuksen poistoveden puhdistustekniikoiden yritystaloudellisista vaikutuksista on vähän tutkittua tietoa. Puhdistustekniikoiden käyttökelpoisuuteen joudutaan kuitenkin erityisesti ympäristölupia myönnettäessä ottamaan kantaa. Ympäristöinvestoinnit voivat olla houkuttelevia myös yritystaloudellisesti, jos niiden avulla voidaan kasvattaa tai tehostaa tuotantoa.

Tässä tutkimuksessa on yhteistyössä kalankasvatusyritysten ja asiantuntijoiden kanssa laskettu kuuden eri tavoin fosforikuormitusta pienentävän kirjolohilaitoksen kustannusrakenteita ja kannattavuutta biologis-taloudellisen mallin avulla. Tarkastellut vaihtoehdot olivat:

- 1) Uoma-allaslaitos ilman ravinteiden talteenottoa.
- 2) Uoma-allaslaitos, jossa on lietetaskut.
- 3) Laitoksen saneeraus pyöröaltailla ja fosforin poisto laskeutuksella.
- 4) Laitoksen saneeraus pyöröaltailla ja fosforin poisto sekä laskeutuksella että rumpusiivilöinnillä.
- 5) Kiertovesikasvatus.
- 6) Uoma-allaslaitos, jossa käytetään erittäin vähäfosforista rehua.

Ympäristötoimet osoittautuivat kirjolohen kasvatuksessa kannattamattomiksi, vaikka fosforin ominaiskuormituksen vähentyminen saataisiin täysimääräisesti hyödyntää tuotantoa kasvattamalla. Nykyistä yhä vähäfosforisemman rehun käyttö kalan ohitettua poikasvaiheen vaikutti yritystaloudellisesti lupaavimmalta. Nykyisten pitkälle kehitettyjen rehujen parantaminen ei ole kuitenkaan enää helppoa. Kiertovesikasvatus osoittautui heikoimmin kannattavaksi kirjolohen kasvatusmuodoksi. Kiertovesitekniikka avaa kuitenkin mahdollisuuksia, joiden tarkempi arviointi on tarpeen. Myös uusia kustannusvaikutukseltaan edullisia innovaatioita uoma-allaslaitosten saneeraukseen tulisi jatkokehittää ja kokeilla suomalaisissa oloissa.

Kalankasvatus, ravinnekuormitus, kannattavuus

Kala- ja riistaraportteja 394

951-776-543-6

1238-3325

31 s. + 1 liite

suomi

Julkinen

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 2
00791 Helsinki
Puh. 020 57511 Faksi 020 5751 201
<http://www.rktl.fi/julkaisut> (pdf)

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 2
00791 Helsinki
Puh. 020 57511 Faksi 020 5751 201

Sisällys

1. JOHDANTO.....	1
2. LASKENTAAN VALITTUJEN TUOTANTOTEKNIKOIDEN PERIAATTEET	3
2.1 Uoma-allaskasvatus	3
2.2. Pyöröaltaat ja kiintoaineen keskipoisto pystyselkeyttimeen	3
2.3 Pyöröaltaat, kiintoaineen keskipoisto ja poistoveden siivilöinti	4
2.4 Kiertovesilaitos.....	4
2.4.1 Kiertovesijärjestelmän peruseriaatteet.....	4
2.4.2 Vedenkäsittelytekniikka	5
2.4.3 Kiertovesijärjestelmän mitoitus	6
2.4.4 Kiertovesitekniikka poistoveden käsittelyn kannalta	7
2.5 Äärevä ympäristörehu.....	7
3. MENETELMÄT	8
3.1 Laskentamalli ja perusoletukset.....	8
3.1.1 Biologisiin ja teknisiin muuttujiin liittyviä perusoletukset.....	10
3.1.2 Taloudellisiin muuttujiin liittyviä perusoletuksia.....	10
3.2 Tuotantomenetelmiä koskevat laskennan oletukset.....	12
3.2.1 Uoma-allas ilman ravinteiden talteenottoa	12
3.2.2 Maauoma-aitaiden kuormituksen vähentäminen lietetaskuilla	12
3.2.3 Maauoma-aitaiden saneeraus pyöröaltaiksi ja kuormituksen vähentäminen erillisviemäröinnillä.....	13
3.2.4 Pyöröaltaiden kuormituksen voimakas vähentäminen siivilöinnillä	13
3.2.5 Kirjoloihen kasvatus kiertoovesilaitoksessa	14
3.2.6 Maauomalaitoksen kuormituksen vähentäminen erittäin vähäfosforisen rehun avulla	16
4. TULOKSET	17
4.1 Ympäristötoimien vaikutus tuotantokustannuksiin ja kannattavuuteen	17
4.2 Kirjoloihen myyntihinnan vaikutus tuotannon kannattavuuteen	20
4.3 Tuotantomäärän rajoittamisen vaikutus kannattavuuteen.....	21
4.4 Puhdistustehon epävarmuuden merkitys tuotantokustannuksiin	23
5. TULOSTEN TARKASTELU	24
KIITOKSET	27
KIRJALLISUUS	28
LIITE 1. LASKENNASSA KÄYTETTYJÄ KAAVOJA JA OLETUKSIA	31

1. Johdanto

Kalojen kasvatusta on 40 vuoden aikana kehittänyt Suomessa pienimuotoisesta sivelinkeinosta yhdeksi kalatalouden tukijaloista. Kaupallinen kasvatusta käynnistyi 1950-luvun lopussa lohikalajien istukatuotantona ja kirjolohien lammikkokasvatukseksi (Halme ja Orpana 1968). 1980-luvulla kirjolohien kasvatusta laajentuessa toimintaan alettiin vaatia vesioikeuden lupa. Ravinnekuormitusta rajoittavissa kalankasvatustuvissa säädeltiin ensisijaisesti tuotantomäärää, mutta myöhemmin on siirrytty kohti kuormituslupaa. Paikallinen rehevöityminen synnytti ympäristökiistoja sekä sisämaassa että Saaristomerellä, ja kalankasvatusta nousi voimakkaan julkisen huomion kohteeksi vesistöjen tilaa koskevassa keskustelussa (Peuhkuri 2004). Ympäristökysymykset ovatkin siitä asti olleet keskeisiä teemoja tuottajien, viranomaisten ja tutkimuslaitosten yhteistyössä.

Kalankasvatustuotannon kasvu pysähtyi 1990-luvulla ympäristösäätelyn kiristyessä ja Suomen kalamarkkinoiden avautuessa kansainväliselle kilpailulle (Saarni ym. 2003). Lohikalajien tuonti moninkertaistui ja norjalainen tuotu lohi ja kirjolohi veivät markkinoita kotimaiselta kirjolohelta. Tuotu kala sopi hyvin nykyaikaisen päivittäistavara-kaupan vaatimuksiin. Vähittäiskauppa- ja vähittäiskaupat keskittivät hankintojaan niille isoille toimittajille, jotka pystyivät monipuolisesti ja tasaisesti tyydyttämään markkinoiden kysyntää ympäri vuoden (Setälä ym. 2003).

Kilpailevissa tuottajamaissa, kuten Norjassa, Skotlannissa ja erityisesti Chilessä, luonnonolosuhteet ja yhteiskunta ovat sallineet tuotannon voimakkaan lisäyksen. Maailmanlaajuisesti vesiviljely onkin ollut nopeimmin kasvava elintarvikkeiden alkutuotannon muoto. Kotimaisen kalankasvatusta menestyminen kansainvälistyneillä lohimarkkinoilla edellyttäisi tuotantoyksiköiden koon kasvattamista, mikä on kiristyvillä ympäristölupaehdoilla hyvin vaikeaa. Kasvuhakuisimmat yritykset ovat laitosten ja ulkomaan tuotannon kautta pystyneet jossain määrin laajentumaan, mutta toimialan kannattavuus on siitä huolimatta jäänyt heikoksi. Suomalaisen kalankasvatustelinkeinon haasteena onkin kehittää sellaisia tuotantostrategioita, joilla toiminnan kannattavuus parane ja ympäristökuormitus laskee.

Kalankasvatusta ravinnekuormitusta hallintaa voidaan pohtia Jokisen (1995) kaksisuuntaisen kehikon avulla. Kehikossa ensimmäinen ulottuvuus on ympäristövaikutusten säätelytapa, jossa voimakasta valtion otetta edustavat hallinnolliset määräykset. Sitä vastoin valtion ote on heikompi kuluttajien ohjatessa ostokäyttäytymisellään tuotantoa kohti ympäristöystävällisyyttä. Kalankasvatusta ympäristövaikutusten säätely on tapahtunut lähes ainoastaan hallinnollisin määräyksin. Kehikon toista ulottuvuutta Jokinen nimittää ympäristöpolitiikan syvyydeksi. Siinä ympäristötoimien voidaan ajatella joko keskittyvän syntyneiden päästöjen suodattamiseen tai sitten reagoivan jo tuotantoprosessissa kuormitusta synnyttävien mekanismien kanssa, että päästöjä syntyy mahdollisimman vähän. Veitolan ja Mäkinen (1996) päätösanalyysissä sekä kalankasvatusta ympäristöviranomaisten edustajat painottivat kuormitusta vähentämistä tuotantoprosessia kehittämällä, erityisesti tehostamalla kalajien rehun käyttöä. Rehuja, ruokintaa ja myös eläinainesta kehittämällä fosforin ominaiskuormitus on viimeisen viidentoista vuoden aikana puolittunut (Kaukoranta 2005).

Puhdistustekniikoiden käytännön toimivuudesta, ympäristötehokkuudesta ja yritystaloudellisista vaikutuksista on vähän tutkittua tietoa. Poistoveden käsittelytekniikka lisää kustannuksia, minkä vuoksi tuotantoa pitäisi ympäristöinvestointien yhteydessä tehostaa. Yrittäjien näkökulmasta ympäristöinvestoinnit muuttuvat houkuttelevammiksi, jos ne samalla avaavat uusia kannattavia mahdollisuuksia markkinoilla. Toiminta voisi ympäristöolosuhteita hallitsevan tekniikan myötä tehostua tuotantoa kasvattamalla, kasvatustiheyksiä nostamalla ja tuotantokiertoa lyhentämällä. Kierto-

vesiviljelyssä lämpösäätely helpottaa tarjonnan ajoittamista kysynnän mukaiseksi, mikä saattaa luoda kilpailuetua luonnonoloissa tapahtuvaan kasvatukseen nähden.

Tämän tutkimuksen tarkoitus on arvioida kuormitusta vähentävien tekniikoiden vaikutusta sisämaan kalankasvatuksen yritystaloudelliseen kannattavuuteen. Poistoveden käsittelyyn tarvittavien tekniikoiden ja erityisesti kiertovesikasvatuksen yritystaloudellisista vaikutuksista on ollut vähän julkista tietoa. Tutkimuksen tavoitteena onkin tuottaa neutraalia ja ajanmukaista tietoa yritysten päätöksenteon, yhteiskunnallisen ohjauksen ja tutkimuksen kohdentamisen tueksi.

Tutkimuksessa verrataan seuraavan kuuden kirjolohen tuotantovaihtoehdon kustannusrakennetta ja kannattavuutta:

- 1) Uoma-allaslaitos ilman ravinteiden talteenottoa.
- 2) Uoma-allaslaitos, jossa on lietetaskut.
- 3) Laitoksen saneeraus pyöröaltailla ja fosforin poisto laskeutuksella.
- 4) Laitoksen saneeraus pyöröaltailla ja fosforin poisto sekä laskeutuksella että rumpusiivilöinnillä.
- 5) Kiertovesikasvatus.
- 6) Uoma-allaslaitos, jossa käytetään erittäin vähäfosforista rehua.

Kaksi ensin mainittua vaihtoehtoa edustavat sisämaassa käytössä ollutta perinteistä tuotantoa. Itsepuhdistuviin altaisiin siirtyminen merkitsisi ruokakalan kasvatuksessa selkeää teknologista harppausta, vaikka tekniikka on yleisesti käytössä poikasviljelylaitoksissa. Kiertovesilaitos edellyttää jo mittavia investointeja pitkälle kehittyneeseen tekniikkaan ja edustaa huomattavasti intensiivisempää ja valvottua elintarvikkeiden tuotantomuotoa. Erittäin vähäfosforisen käyttö ei edellytä kasvattajalta investointeja tai tuotantotavan muutosta, mutta vaatii rehuteollisuuden kehitystyötä.

Tutkimusraportti alkaa tarkasteltavien tuotantovaihtoehtojen kuvauksella painottuen erityisesti kiertovesikasvatukseen, josta ei ole juurikaan suomenkielisiä julkaisuja. Tämän jälkeen esitetään laskennan menetelmät ja oletukset. Seuraavaksi esitetään laskennan tulokset, joiden perusteella tehdään johtopäätöksiä ja suosituksia jatkotoimiksi.

2. Laskentaan valittujen tuotantotekniikoiden periaatteet

2.1 Uoma-allaskasvatus

Suomessa uoma-altaat ovat yleensä maapohjaisia lammikoita tai pitkiä uomia. Useissa muissa maissa uoma-altaat ovat pääasiassa betonipintaisia. Veden johtaminen altaisiin ja sieltä pois riippuu mm. altaiden etäisyydestä vedenottopaikasta ja veden pudotuskorkeudesta. Vesi voidaan johtaa putkistoja ja avokanavia käyttäen. Uoma-altaiden vesi voidaan johtaa painekorkeuden ja vedenlaadun riittäessä toiseen kala-altaaseen tai suoraan vesistöön.

Lietteen kertyminen riippuu altaan virtauksista ja pohjan muodoista. Lietteen kertymisestä uoma-altaisiin ja lietetaskuihin ovat kirjoittaneet mm. Karttunen (1985) ja Ritola (1992). Pienellä pudotuskorkeudella liete kertyy epätasaisesti pitkien uoma-altaiden pohjiin, jolloin sen tehokas poistaminen on vaikeaa. Perinteisesti lietettä on poistettu harvoin, ehkäpä vain kerran vuodessa altaan tyhjennyksen ja pohjan huuhtomisen yhteydessä liikuteltavaan säiliöön pumpaten. Joillakin laitoksilla on altaisiin rakennettu useammin tyhjennettävissä olevia lietetaskuja tai uoma-altaiden perässä olevia kalatomia laskeutusaltaita. Lietetaskujen toteutuksen tekniikasta ja kustannuksista sekä lietteenpoiston käytännöistä ovat raportoineet mm. Selänne ym. (1983) ja Selänne (1988).

2.2. Pyöröaltaat ja kiintoaineen keskipoisto pystyselkeyttimeen

Uoma-altaissa kiintoaineen ja sen myötä ravinteiden poisto on hitaiden ja pyörteisten virtausten vuoksi vaikeaa. Uoma-altaiden virtausten muuttamiseksi on olemassa kiinnostavia uusia vaihtoehtoja, kuten uoma-altaiden ositus pumppujen avulla itsepuhdistuviksi (ns. mixed-cell raceway; Ebeling ym. 2005). Tässä tutkimuksessa olemme kuitenkin olettaneet intensiivisempien puhdistusratkaisujen perustuvan pyöröaltaisiin, koska niiden teknisestä toimivuudesta on saatavissa kustannuslaskentaan tarvittavia tietoja. Suomessa pyöröaltaita ei ole juurikaan käytetty lohikalojen jatkokasvatukseen.

Selkeytystä, siivilöintiä ja kiertovesikasvatusta koskevat laskentaesimerkkimme perustuvat keskenään samankaltaisiin pyöröaltaisiin. Niissä pääosa vedestä poistuu altaan sivusta, ja kiintoaine kertyy altaan keskelle. Altaan keskeltä poistetaan jatkuvasti noin 10 % virtaamasta altaan vieressä olevaan pystyselkeyttimeen (esim. Davidson ja Summerfelt 2005). Tällainen allas poistaa oikein mitoitetuna kalojen ulosteet ja mahdollisen syömättömän rehun tehokkaasti (Davidson ja Summerfelt 2004).

Pystyselkeytin toimii pyörreselkeyttimen tapaan niin, että suurin osa kiintoaineesta laskeutuu pohjalle samalla kun päävesijae poistuu selkeyttimen yläosasta. Pystyselkeyttimen pohjalle kertyvän lieteveden määrää voidaan ennustaa pyörreselkeyttimille tehtyjen mitoitusten mukaan. Kaloihin sitoutumattomasta fosforista kyetään poistamaan noin 25 %, jos 5 % vedestä poistetaan jatkuvasti pystyselkeyttimen pohjalta (vrt. esimerkiksi Pursiainen ja Makkonen 1995). Pystyselkeytin voidaan tyhjentää myös määräajoin käsin tai automaattisesti. Tämä voi huonontaa puhdistustulosta, mutta vähentää käsiteltävän lieteveden määrää.

Lieteveden tiivistäminen on välttämätöntä, koska lietevettä kertyy runsaasti, jopa noin 0,5 % kokonaisvirtaamasta. Lietevettä voidaan tiivistää mm. laskeutuksen, flotaation tai hihnasuodattimien avulla. Menetelmien teknisyyks, kustannukset ja lopullisen liet-

teen kuiva-ainepitoisuus vaihtelevat. Lietteen jatkokäsittelyssä fosforisaanto voi olla erittäin hyvä, noin 80 % lietteen fosforista.

2.3 Pyöröaltaat, kiintoaineen keskipoisto ja poistoveden siivilöinti

Kiintoaineen keskipoistolla ei saada talteen pyöröaltaan päävesijakeessa poistuvia ja pystyselkeyttimestä karkaavia leijuvia hiukkasia. Niiden poistamiseksi päävesijake voidaan suodattaa mikrosiivilöiden avulla. Erilaisista siiviläratkaisuista yleisimpiä ovat rumpusiivilät (esim. Cripps ja Bergheim 2000). Rumpusiivilöiden teho riippuu rumpusuodattimen koon lisäksi viiran tiheydestä. Suurilla rumpusiivilöillä voidaan käsitellä lähes 1 000 litraa vettä sekunnissa. Rumpusiivilöistä poistuvan lietteen määrä on viiran huuhtelutiheydestä riippuen noin 0,2–2 % siivilöitävästä vesimäärästä. Näin ollen poistoveden siivilöinti karkeasti arvioiden kolminkertaistaa lietteen määrän pelkkään jatkuvatoimiseen pystyselkeytykseen nähden. Lietteä voidaan tiivistää aiemmin mainituin menetelmin, mutta kasvava hydraulinen kuorma täytyy huomioida järjestelmän mitoituksessa.

2.4 Kiertovesilaitos

2.4.1 Kiertovesijärjestelmän peruserätykset

Kiertovesijärjestelmän tekniikan valinta ja mitoitus vaikuttavat keskeisesti laitoksen teknis-biologiseen toimivuuteen ja yritystoiminnan kannattavuuteen. Kiertovesitekniikan periaatteet ovat jo 30 vuotta vanhoja, mutta tekniset ratkaisut ovat ajan kuluessa kehittyneet. Kiertovesijärjestelmiä ei ole Suomessa juurikaan tutkittu ja vain muutamilla yrityksillä on niistä kokemusta. Seuraavassa esittelemme lyhyesti tekniikan ja mitoituksen perusteita, jotta tuotantokustannuksiin vaikuttavia tekijöitä on helpompi ymmärtää.

Kiertovesikasvatuksessa kala-alden läpi virrannut vesi käsitellään, jotta suuri osa siitä voidaan johtaa kaloille uudelleen. Veden johtaminen peräkkäisiin altaisiin, mahdollisesti vettä välillä ilmastaen, voidaan käsitellä eräänlaisena yksinkertaisena kiertovesikasvatuksena ("serial re-use aquaculture"). Hieman teknisemmissä ratkaisussa vesi johdetaan erillisiin ilmastus- ja hapetustorneihin ennen osittaista uudelleenkäyttöä ("partial re-use aquaculture"). Ilmastus poistaa kalojen erittämää hiilidioksidia ja nostaa veden happipitoisuutta. Veteen jää kuitenkin edelleen kiintoainetta ja typpiyhdisteitä.

Termi kiertovesikasvatusta ("recirculating aquaculture") tarkoittaa järjestelmää, jossa tulevan veden tarvetta voidaan pienentää poistamalla kasvatusvedestä kiintoainetta mekaanisesti, typpiyhdisteitä biologisesti ja hiilidioksidia vettä ilmastamalla. Lisäksi kasvatuksen tehostamiseksi veteen lisätään usein happea ylikyllästyttämällä menevä vesi.

Kiertovesikasvatuksessa vuorokaudessa lisätään uutta vettä 20–50 % alden vesitilavuudesta. Intensiivisellä tekniikalla päästään tätäkin pienempään määrään, joskin alle 10 % vaatii jo erityisen syyn (Losordo 2005).

Voimakkaasti pienentyvä tuloveden käyttö tarkoittaa neljää keskeistä asiaa kasvatuksen liiketoiminnallisen kannattavuuden kannalta. Ensinnäkin veden kierrättäminen edellyttää tekniikkaa, joka maksaa ja tuo epävarmuuksia. Toinen merkittävä seikka on se, että veden ympärivuotinen lämpötilan säätö tulee taloudellisesti mahdollisemmaksi. Lämpötilan säätö mahdollistaa uusien lajien kasvatuksen ja sen avulla voidaan taata

tasaiset ja optimaaliset olosuhteet perinteisten lajien kasvatuksessa. Kolmanneksi vedenkäsittelyyn liittyvä tekniikka mahdollistaa lieteveden keruun ja jatkokäsittelyn. Tämä lisää poistoveden puhdistuksen teknis-taloudellista toteutettavuutta, ja saattaa siten lisätä yritystoiminnan mahdollisuuksia alalla, jolla kuormitusluvut ovat osa elinkeinopolitiikan ohjausta. Kiertovesitekniikka tarjoaa lisäksi mahdollisuuden kasvattaa kalaa paikoissa, joissa vettä ei ole läpivirtauskasvatukseen tarvittavia määriä saatavilla.

2.4.2 Vedenkäsittelytekniikka

Käymme hyvin lyhyesti läpi kiertovesikasvatuksen tekniikkaa altaan hydrauliiikan, kiintoaineen ja aineenvaihduntatuotteiden poiston, hapen lisäyksen ja veden pH-säädön ja desinfioinnin näkökulmasta. Maailmalla, erityisesti Yhdysvalloissa ja Hollannissa, olevien kiertovesilaitosten teknisessä toteutuksessa on laitosten iästä ja niissä kasvatettavista kalalajeista johtuen suuria eroja. Yhteenvetomme kuvastaa tämänhetkistä käsitystä makeanveden kasvatukseen soveltuvasta kiertovesitekniikasta lajeilla, jotka eivät pysty poikkeuksellisen hyvin sopeutumaan muun muassa vähähappiseen veteen.

Kiertovesikasvatuksessa hydraulisesti hyvin toimivan altaan merkitys on suuri. Kiintoaine on saatava altaasta nopeasti pois ennen hajoamista, jotta se voidaan myöhemmin vedenkäsittelyssä poistaa laskeuttamalla tai siivilöimällä. Kiintoaineen liiallinen määrä kasvatusvedessä rasittaa kaloja ja heikentää biosuodattimen kykyä poistaa ammoniumtyyppiä. Useissa tutkimuksissa on todettu, että kiertovesikasvatukseen soveltuvat parhaiten altaat, joista 80–90 % vedestä poistuu altaan sivusta ja 10–20 % altaan keskeltä. Tällainen allas toimii pyörreselkeyttimen tavoin kiintoainetta keskelle kerryttäen. Ihanteellisen altaan läpimitan ja syvyyden suhde tulisi olla 3:1. Kun vesi johdetaan altaaseen altaan ulkokehälle sijoitetulla pystyllä suutinputkella, voidaan altaan pyörövirtauksen aikaansaama virtauskuvio pitää mahdollisimman tasaisena, jolloin pohja puhdistuu hyvin. Pystyputkessa olevien suuttimien avulla tulovettä voidaan johdtaa niin, että pohjan puhdistuvuus on mahdollisimman hyvä.

Altaan keskeltä poistuvasta lietevesijakeesta voidaan erottaa karkeimmat hiukkaset esimerkiksi pysty- tai pyörreselkeyttimeen. Partikkelit laskeutuvat selkeyttimen pohjalle ja virtaus johdetaan rumpusuodattimen kautta takaisin kiertoon. Kiintoainetta poistetaan useimmin rumpusiivilöimällä koko päävesijae. Rumpusiivilän tehoon vaikuttavat viiran reikien läpimitta, yleensä noin 0,05–0,1 mm, sekä viiran puhdistukseen käytettävän veden määrä. Viiran puhdistukseen käytettävä vesi, noin 0,5–2,0 % suodatettavasta vesimäärästä, poistuu tarvittaessa lieteveden jatkokäsittelyyn ja vaikuttaa yhdessä selkeytyksessä poistetun lieteveden kanssa uuden veden tarpeeseen.

Kiertovesikasvatuksen toiminnallisena ytimenä on bioreaktori. Bioreaktorissa vesi johdetaan kantoaineeseen, esimerkiksi hiekkaan, muovirouheeseen tai erilaisiin kennoistoihin, joiden pinnalle kehittyy tyyppiä poistava bakteeristo eli biofilmi.

Bakteeristo muuntaa ammoniumtyypen nitriitiksi ja edelleen nitrifikaation lopputuotteeksi nitraatiksi. Nitriitti on nitrifikaatioreaktion kaloille myrkyllinen välituote, jota oikein toimivassa järjestelmässä ei pääse kertymään. Nitraatti on kaloille ammoniakkia ja nitriittiä huomattavasti harmittomampi tyyppiyhdiste. Erilaisia bioreaktoriratkaisuja ovat muun muassa leijupeti-, kellupeti- ja valutussuodattimet sekä pyörivät bioreaktorit. Niiden muoto ja koko vaihtelevat, ja niissä voidaan käyttää erilaisia väliaineita bakteerien kasvualustana. Joissakin ratkaisuissa puhdistusta pyritään tehostamaan poistamalla bioreaktorissa myös kiintoainehiukkasia. Lähes suljetuissa kiertovesijärjestelmissä (vedenvaihto vuorokaudessa alle 10 % allastilavuudesta) nitraattiakin joudutaan poistamaan. Tämä tapahtuu erillisen hapettoman tai lähes hapettoman prosessin kautta denitrifikaatioreaktorissa.

Kalojen veteen erittämä hengityskaasu hiilidioksidi on kaloille myrkyllistä. Kalojen lisäksi bioreaktorin bakteeristo tuottaa hiilidioksidia. Hiilidioksidia saadaan poistettua vedestä tuulettamalla, ts. joko johtamalla ilmaa veteen tai yleisemmin johtamalla vesi ilmaan. Ensin mainittua tapaa edustaa allasveden ilmastus, jolla voidaan lisäksi muuttaa veden virtauksia altaassa. Jälkimmäistä periaatetta sovelletaan erilaisissa valutus-torneissa, joissa vesi johdetaan ritilöiden tai muiden huokoisten rakennelmien läpi alaspäin, usein puhallettavaa ilmapirtaa vastaan.

Kiertovesikasvatuksessa laitokseen tulevan uuden veden hapen määrä on olematon kalojen ja bioreaktorin bakteeriston kulutukseen nähden, minkä vuoksi happea lisätään veteen usein ylikylläisiä määriä. Happi voidaan liuottaa erilaisissa kammioissa ja torneissa, tai liuotus voidaan valutuksen jälkeen yhdistää hiilidioksidia poistavan valutus-tornin yhteyteen. Happi voidaan tuottaa paikallisesti generaattorin avulla tai sitä voidaan ostaa nestehappena.

Kiintoaineen poisto, bioreaktori, veden ilmastus ja hapetus eivät poista vedestä mikro- beja (bakteerit, levät, hiivat), joiden määrä voi kohota vettä kierrätettäessä. Mikro- bien hallitsemiseksi kiertovesijärjestelmissä on usein uv- ja/tai otsonointilaitteisto, joiden avulla voidaan välttää kalasairauksien puhkeamista ja vähentää veden sameutta sekä mahdollisia makuvirheitä aiheuttavien eliöiden määrää. Nitrifikaatio kuluttaa veden alkaliniteettia, joka kuvaa veden kykyä puskuroitua pH:n laskua vastaan. Kun kalojen erittämä hiilidioksidi laskee veden pH:ta, veden alkaliniteettia saatetaan joutua ylläpi- tämään kemikaalien avulla. Ammoniakin ja nitriitin myrkyllisyys kaloille riippuu ve- den pH:sta, jota on sen vuoksi voitava hallita.

Näiden lisäksi kiertovesilaitoksissa sovelletaan muuta tekniikkaa muun muassa kalo- jen ruokinnassa, veden lämpötilan säätelyssä ja veden laadun seurannassa. Seuranta-, hälytys- ja varajärjestelmät ovat erityisen tärkeitä kasvatuksessa, jossa kalojen hyvin- vointia ylläpidetään tekniikan varassa.

2.4.3 Kiertovesijärjestelmän mitoitus

Kiertovesijärjestelmän mitoitukseen tarvitaan paljon teknistä ja biologista tietoa. Mi- toituksen perustana voidaan pitää kalan kasvumallia, joka ennustaa veden lämpötilan ja kalan koon avulla kalojen kasvunopeutta. Kasvuarviota voidaan käyttää myös tuot- tantoprosessin suunnittelussa. Kalojen kasvunopeuden, biomassan ja rehunkäyttöte- hokkuuden avulla arvioidaan päivittäistä ruokintamäärää. Ruokintamäärä vaikuttaa ammoniumtyypen erityykseen, mikä taas huomioidaan bioreaktorityypin valinnassa ja mitoituksessa. Kalojen hapenkulutusta voidaan puolestaan arvioida hapenkulutusal- lien avulla, joskin peukalosääntöjä rehunmäärän kautta tapahtuvaan hapenkulutuksen arviointiinkin on olemassa. Mitoituksen avuksi on julkaistu käsikirjoja sekä laskenta- pohjia (esim. Timmons ym. 2002, Losordo ja Hobbs 2000).

Osaprosessien suuruutta voidaan mitoittaa ainetaselaskelmien avulla. Esimerkiksi hap- pentarvetta tarkastellaan tällöin veden virtaaman ja happipitoisuuden tulona, ts. hap- pea lisätään altaaseen virtaamaa kasvattamalla ja/tai tuloveden happipitoisuutta nostam- malla. Veden runsaan pumppaamisen vuoksi nostokorkeudet olisi minimoitava. Tek- nisen yksikertaisuuden, pumppaushävikkien ja putkien puhdistettavuuden vuoksi ve- denkäsittelylaitteiden välimatkat olisi pystyttävä pitämään pienenä. Lisäksi tarjolla olevista teknisistä ratkaisuista olisi pystyttävä valitsemaan luotettava ja taloudellisesti kilpailukykyinen vaihtoehto.

Laitoksen taloudellisuuden kannalta on edullista pitää kalan biomassaa tasasuuruuisena, koska järjestelmä mitoitetaan kalojen suurimman hapenkulutuksen ja aineenvaihdunta- tuotteiden erityksen perusteella. Tämä taas edellyttää hyvää tuotannon suunnittelua sekä mahdollisuuksia lajitella ja jakaa kaloja kokoluokittain useisiin altaisiin. Tasainen biomassa mahdollistaa myös tasaisen tarjonnan markkinoille.

2.4.4 Kiertovesiteknikka poistoveden käsittelyn kannalta

Kiertovesikasvatuksessa käsittelemättömän poistoveden ravinnepitoisuudet ovat huomattavasti korkeammat kuin läpivirtauslaitoksissa, sillä kierto-vesilaitoksissa vettä käytetään selvästi vähemmän. Tästä huolimatta esimerkiksi 100 tonnin laitoksessa poistovettä kertyy vuorokaudessa 200–500 kuutiota ja liete-vettä täytyy edelleen tiivistää. Kiertovesilaitosten lieteveden jatkokäsittelyssä on käytetty kemikaalien avulla tehostetua laskeutusta sekä teknisempiä flotaatioyksiköitä ja hihnasuodattimia. Lietevettä voidaan johtaa myös kunnalliseen tai teollisuuden jätevesiverkostoon, jos jätevedenpuhdistamo kykenee käsittelemään johdettavan lieteveden hydraulisen kuorman sekä ravinteiden ja happea kuluttavien aineiden määrän. Lieteveden jatkokäsittelyä voidaan tehostaa kasvattamalla leijuvan kiintoaineen hiukkaskokoa kemikaalien ja polymeerien avulla.

2.5 Äärevä ympäristörehu

Teknisten ratkaisujen lisäksi fosforikuormitusta voidaan supistaa vähentämällä rehun ravinteiden hävikkiä. Lohikalajien rehun fosforipitoisuutta on onnistuttu pienentämään siirtymällä vähemmän fosforia sisältäviin kalajauhoihin ja korvaamalla kalajauhoa vähäfosforisilla kasvipörisillä valkuaisraaka-aineilla. Samalla monien kalalajien fosforintarve on määritetty sekä ravinnekuormituksen vähentämistavoitteet että eläinterveydelliset vaatimukset huomioiden.

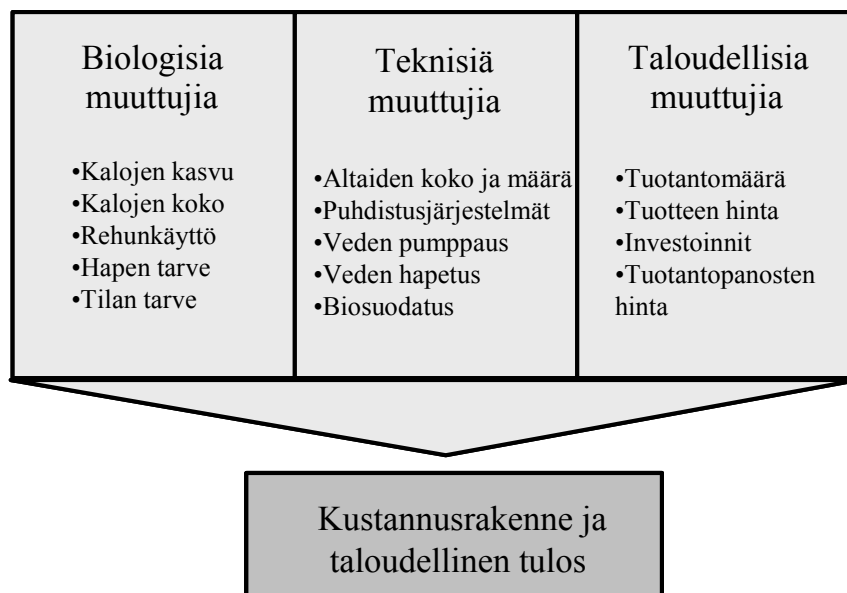
Tutkimustulosten mukaan nykyisten kaupallisten poikasrehujen fosforipitoisuutta ei voida enää pienentää, jollei fosforin sulavuutta pystytä jollakin uudella menetelmällä samalla merkittävästi parantamaan. Poikasvaiheessa kalat pystyvät hyödyntämään rehun erittäin tehokkaasti. Poikasten kasvunopeus on hyvä, ja esimerkiksi 2-grammainen kirjolohi voi kaksinkertaistaa painonsa lähes 10 vuorokaudessa. Tarpeeseen nähden rehun liian matala fosforimäärä johtaa nopeasti puutostilaan, joka voi ilmetä luustovaurioina ja heikkona kasvuna. Sen sijaan poikasvaiheen ohittaneen kalan suhteellinen kasvu on selvästi hitaampaa ja sen elimistö sietää paremmin jopa lievää fosforin puutetta. Fosforikuormituksen vähentämisen kannalta tämä on merkittävä havainto. Poikasvaiheen kasvatuksessa biomassat ovat pieniä ja kuormituksella on pieni vesiensuojelullinen merkitys, kun taas fosforin puutteesta johtuvat taloudelliset ja eläinsuojelulliset riskit ovat merkittävät. Sen sijaan markkinakokoa lähestyviä kaloja ruokittaessa rehunkulutus ja siitä johtuva kuormitus kasvaa, jolloin pienelläkin fosforin vähentämisellä saavutetaan suurempi vaikutus. Fosforin liiallinen vähentäminen aiheuttaa kuitenkin hyvinvointiin liittyviä riskejä myös ruokakalatuotannossa.

Huolellisella kalajauhon valinnalla ja maltillisella kasviraaka-aineiden käytöllä saadaan jatkokasvatusrehuissa päästä noin 0,9 %:n fosforipitoisuuteen. Erityisen vähäfosforisilla raaka-aineilla rehun fosforipitoisuutta saatetaan voida laskea jopa 0,7 %:iin siten, että rehu olisi vielä ravitsemuksellisesti tasapainoista ja sen valmistaminen olisi teknisesti mahdollista. Tällaisen rehun fosforin käyttökelpoisuutta tulisi kuitenkin nostaa esimerkiksi fytiinifosforin pilkkomiseen käytettävän fytaasi-entsyymin avulla (Vielma ym. 2004). Fytaasi on ensimmäinen EU:ssa vesiviljelyyn hyväksytty rehuentsyymi.

3. Menetelmät

3.1 Laskentamalli ja perusoletukset

Tässä tutkimuksessa suunniteltiin kuusi laskennallista kalanviljelylaitosta, jotka kasvattavat kirjolohta fosforikuormitusta eri keinoin vähentäen. Tuotantovaihtoehtojen kustannusrakenteet ja kannattavuudet laskettiin taulukkolaskentaohjelmaan tehdyn biologis-taloudellisen mallin avulla (Kuva 1). Laskennassa käytettäviä keskeisimpiä biologisia muuttujia ovat muun muassa kalan kasvu, kuolleisuus, ravinnon ja hapen kulutus sekä kasvatustiheys, jotka määrittävät tarvittavaa tekniikkaa ja laitteistojen mitoitus sekä siten myös investointitarpeita ja muita kustannuksia.



Kuva 1. Biologis-taloudellisen mallin muuttujia.

Laskelmissa oletettiin, että laitoksilla on vesioikeuden lupa päästää 700 kiloa fosforia vesistöön. Tällaisella luvalla voidaan tavallisissa uoma-altaissa kasvattaa noin 115 tonnia kirjolohta. Laskelmissa tuotanto saa kasvaa luvan sallimissa rajoissa sitä mukaa, kun ravinteiden talteenotto tuotantovaihtoehdosta toiseen siirryttäessä tehostuu. Lisäksi tuotantokustannus laskettiin vaihtoehtoisissa, joissa investoidaan poistovesien puhdistamiseen tuotantoa kasvattamatta, ts. kokonaiskuormitusta pienentäen.

Laskennan lähtökohtana pidettiin uoma-allasyritystä, jonka tuotantoa muutetaan siten, että fosforin ominaiskuormitusta pienennetään ympäristöinvestointien tai matalafosforisen rehun avulla. Alkuperäinen uoma-allasinvestointi muine perustuskustannuksineen katsottiin perusinvestoinniksi, joka rasittaa laskelmissa kaikkien tuotantotapojen kustannusrakennetta.

Mallilla laskettiin tuotantomäärä, kustannukset, kirjolohen omakustannusarvo ja toiminnan taloudellinen tulos. Laskennan tulokset esitetään tuotantotavoittain Taulukon 1 tuloslaskelman mukaisesti.

Taulukko 1. Kannattavuuslaskelman muoto.

Tuotanto, kg perattua kalaa

Muuttuvat kustannukset, €/kg

Kalanpoikaset
Rehu
Henkilöstö
Energia
Muut muuttuvat
Muuttuvat pääomakustannukset

Kiinteät kustannukset, €/kg

Ympäristöinvestoinnit
Muut investoinnit
Henkilöstö
Hallintokustannukset
Kiinteät pääomakustannukset

Normaaliomakustannusarvo, €/kg

Tuotot yhteensä, €/kg

Myyntituotot €/kg
Investointituet €/kg

Voitto/Tappio, €/kg

Muuttuvat kustannukset muuttuvat kun tuotantomäärä kasvaa tai pienenee. Tärkeimpiä kalankasvatuksen muuttuvia kustannuksia ovat rehu- ja poikaskustannukset. Suurimmat muuttuvat työkulut aiheutuvat altaiden hoidosta, kalojen perkauksesta, poistoveden puhdistamisesta sekä poistoveden puhdistuksen vaatiman tekniikan ylläpidosta ja huollosta. Kiertovesitekniikassa energiakulut ovat läpivirtauskasvatusta suuremmat. Muut muuttuvat kustannukset sisältävät muun muassa tarvikkeet, vakuutukset, kuljetukset ja peratun kalan kuljetuslaatikot.

Kiinteät kustannukset ovat periaatteessa tuotantomäärästä riippumattomia kustannuksia. Kiinteät kustannustekijätkin kuitenkin muuttuvat portaittain, kun tuotannon kasvu edellyttää tuotantokapasiteetin lisäämistä. Esimerkiksi pyöröaltaiden määrä kasvaa, kun tuotantoa voidaan ravinneluvan rajoissa kasvattaa niin paljon, etteivät vanhat altaat enää riitä. Kapasiteetin lisäys kasvattaa siten investointeja varsinaisten lietteen keruu- ja käsittelyjärjestelmien lisäksi. Asennustyöt ja muut vastaavat investointiin liittyvät kustannukset sisältyvät ympäristöinvestointikustannuksiin.

Muut kiinteät kustannukset ovat liiketoiminnan ylläpidon kannalta olennaisia kustannuksia, kuten esimerkiksi kiinteistöinvestointien kuoletukset (perkaamo ja toimistotilat, maa-ala), koneiden ja tarvikkeiden poistot (ajoneuvot, ruokintalaitteet), kiinteän henkilöstön ja yrittäjien palkat sekä hallinnolliset kustannukset. Investoinnit oletettiin kuoletettavan tasapoistoina investoinnin oletetun käyttöiän perusteella. Kiinteisiin kustannuksiin laskettiin myös sijoitetun pääoman kustannukset, jotka ovat investoinneista johtuvia rahoituskuluja.

Kirjoloihen omakustannusarvo laskettiin normaaliomakustannusarvona. Se kertoo minimihinnan, jolla liiketoiminnan kulut saadaan katettua.

Toiminnan tuotot syntyvät pääosin kirjoloihen myynnistä. Investointituet on laskettu muiksi tuotoiksi.

Kalan yksikkökustannus laskee, jos investointien poistot ja muut kiinteät kustannukset voidaan jakaa suuremmalla tuotantomäärällä. Tuotot ja kustannukset on laskettu peratua kalakiloa kohti, jotta tuotantomäärän muuttumisen kustannusvaikutus olisi selkeämmin havaittavissa. Absoluuttiset kustannukset voidaan laskea kertomalla yksikkökustannukset tuotannon määrällä.

Kustannustietoja kerättiin asiantuntijoita, kalankasvatusyrittäjiä ja tavaratoimittajia haastatteleamalla sekä tilastoista ja aikaisemmista tutkimuksista.

3.1.1 Biologiin ja teknisiin muuttujiin liittyviä perusoletukset

Laitoksilla oletettiin olevan 700 kg vuosittaisen fosforiluvan lisäksi käytössään vettä 1,4 m³ sekunnissa. Uoma-altaisiin ja itsepuhdistuviin altaisiin otetaan keväällä kasvatukseen 50-grammaisia kirjolohia. Kalojen kasvu ennustettiin Iwaman kuutiojuurimallin avulla (Iwama ja Tautz 1981). Laskennassa sovellettiin Tossavaisen (1994) aineistoa suomalaisen kirjoloihen kasvunopeudesta siten, että kasvunopeuden myöhempi geneettinen parantuminen valintajalostuksen avulla on otettu huomioon (Kause ym. 2003 ja 2005). Kasvumallissa käytettiin Laukaan kalanviljelylaitoksen vuosien 2000–2004 veden lämpötilojen ja happipitoisuuksien keskiarvoja. Aineistossa lämpötila ei ylitä missään vaiheessa 19 astetta, joten korkea lämpötila ei rajoita kalojen kasvua ja kalat myydään loppuvuodesta 1 300 gramman painoisina. Kiertovesikasvatuksessa veden lämpötila oletettiin pidettävän ympäri vuoden 15 °C asteessa, jolloin kalan kasvu 50 g:sta 1 300 g:aan kestää 28 viikkoa. Tällöin uuden erän kasvatus aloitetaan kun edellinen erä myydään. Lämmityksen tai jäähdätyksen tarve laskettiin tuloveden ja allasveden lämpötilojen erotuksen sekä uuden veden määrän avulla.

Uoma-altaisissa kalojen lopputiheys on 25 kg/m³ ja pyöröaltaissa 50 kg/m³. Happiolosuhteiden ollessa huonoimmillaan elokuussa kalatiheys on noin 12 kg/m³ uoma-altaisissa ja 24 kg/m³ pyöröaltaissa. Kalojen hapenkulutusta ennustettiin kalan koon ja veden lämpötilan avulla (ks. Liite 1, Christiansen ym. 1990). Laitoksen oletettiin investoivan generaattoriin perustuvaan hapetusjärjestelmään, jos poistoveden laskennallinen happipitoisuus alitti 5 mg/l.

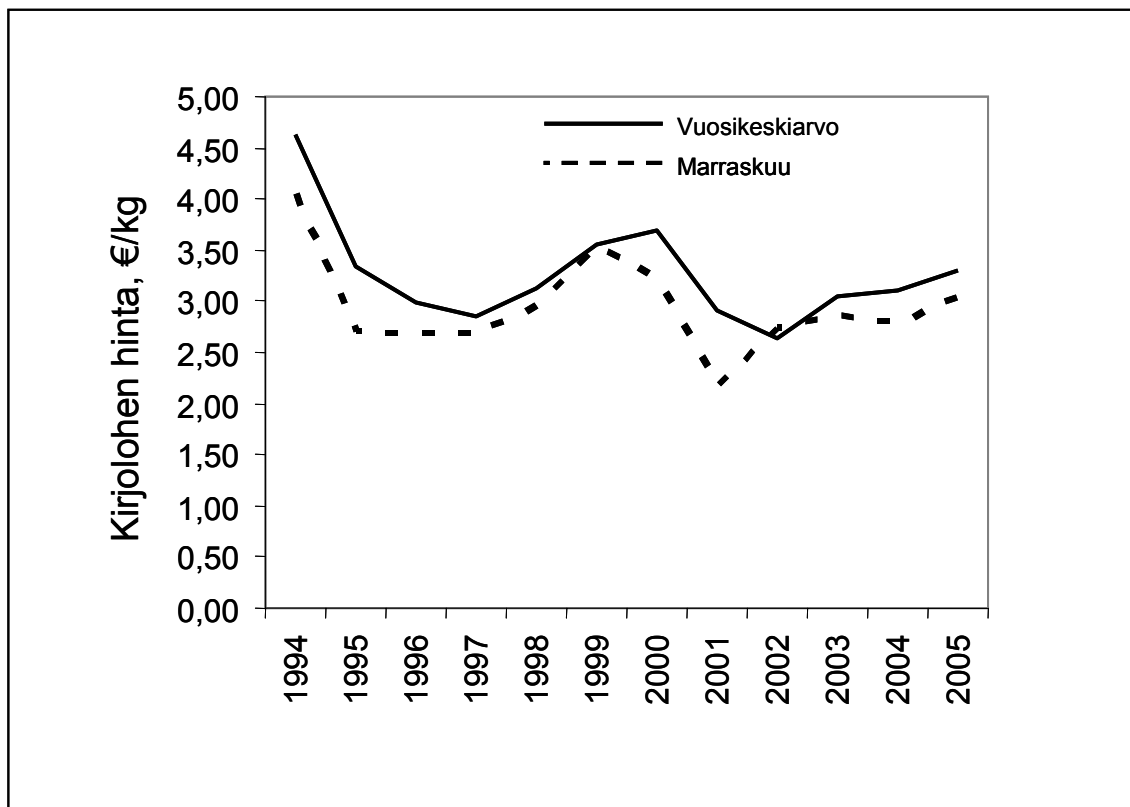
Vuosikuolleisuuden oletettiin olevan 10 % ja ajoittuvan tasaisesti ympäri vuoden. Korkeahko kuolleisuusarvio ennakoi siten normaalikuolleisuuden lisäksi mahdollisesti muutamien vuosien välein tulevia yllättäviä kuolleisuuden nousuja. Rehukertoimien oletettiin olevan 50–100 gramman kaloilla 0,9, 100–500 gramman kaloilla 1,0 ja yli 500 gramman kaloilla 1,1. Vastaavien kokoluokkien rehujen fosforipitoisuuksina käytettiin 13 g P/kg 50–100 grammaa, 11 g P/kg 100–500 grammaa ja 9 g P/kg yli 500 grammaa. Arvioidut rehukertoimet edellyttävät tarkkaa kalabiomassan ja ruokahalun seuranta. Myös valintajalostuksella saavutettu rehun muuntotehokkuuden edistymä auttaa mataliin rehukertoimiin pääsyä (Kause ym. 2006).

3.1.2 Taloudellisiin muuttujiin liittyviä perusoletuksia

Kaikki tuotot ja kustannukset esitetään arvonlisäverottomina. Kirjoloihen myyntihinnalla on suuri vaikutus kasvatuksen kannattavuuteen. Kirjoloihen hinnat ovat viimeisen vuosikymmenen aikana vaihdelleet maailmanmarkkinoiden suhdanteiden mukaan (Kuva 2). Laskennassa kirjoloihen myyntihintana käytettiin vuosien 1996–2005 marraskuun reaalista keskituottajahintaa, joka oli 2,86 €/kg. Kiertovesiviljelyssä myynti-

hintana käytettiin vastaavan ajanjakson vuosikeskiarvoa, koska tuotantomuoto mahdollistaa kalan ympärivuotisen myynnin. Vuosien 1996–2005 reaalin keskihinta oli 3,12 €/kg.

Kalankasvatusinvestointeihin myönnetään erilaisia tukia, jotka on laskelmissa merkitty muiksi tuotoiksi. Olemme olettaneet, että ravinnekuormituksen alentamiseksi tehdyt investoinnit saavat alueelliseen liiketoiminnan kehittämiseen ja ympäristöinvestointeihin myönnettäviä tukia yhteensä 30 % saneerausinvestointien määrästä.



Kuva 2. Kirjolohjen vuosien 1996–2005 marraskuun ja vuosikeskihinnan kehitys. Hinnat ovat elinkustannusindeksillä muutettu vuoden 2005 rahan arvoon.

Muuttuvien kustannusten laskennassa käytettiin seuraavia yhteisiä kustannustekijöitä. Alle 100-grammaisille kaloille ruokittavan rehun hintana käytettiin 0,94 €/kg ja isomman kalan rehun oletettiin maksavan 1,00 €/kg. 50 gramman poikasen hintana käytettiin 7,4 €/kg. Perkaus- ja huoltohenkilöstön palkkana käytettiin 15 €/h ja sivukuluina 40 % palkan päälle. Yhden henkilön laskettiin perkaavan ja pakkaavan 100 kiloa kirjolohta tunnissa. Vakuutuksien oletettiin olevan 2 %, tarvikkeiden 2 % ja polttoaineen 0,3 % liikevaihdosta. Hallintokulujen (luvat, kirjanpito, matkat, puhelin jne.) arvioitiin olevan 7 % liikevaihdosta. Sähkön hinnan oletettiin olevan 7 snt/kWh. Muuttuviin kustannuksiin lasketaan myös varastoon eli kaloihin sitoutuneen pääoman kustannus. Pääomakustannus laskettiin vaihtoehdoisen sijoituskohteen 5 % tuottovaatimuksen perusteella.

Kaikkien tuotantomuotojen yhteisiä kiinteitä kustannuksia on kappaleessa 3.2.1 yksilöity kuuden uoma-altaan laitoksen investointirakenne. Investointeihin liittyvissä pitkän aikavälin pääomakustannuslaskelmissa käytetään kolmen prosentin korkokantaa.

Yrittäjän palkaksi laskettiin 2 500 €/kk ja vakituisen henkilöstön palkaksi 1 500 €/kk. Yrittäjän sivukuluiksi arvioitiin 40 % ja vakituisen henkilöstön 60 %.

Seuraavaksi esitämme keskeisimmät laskennan tekniset, biologiset ja taloudelliset oletukset tuotantomuodoittain. On huomattava, että yritysten kustannukset vaihtelevat paljon erilaisista tuotantokierroista ja laitosten teknisestä toteutuksesta johtuen.

3.2 Tuotantomenetelmiä koskevat laskennan oletukset

3.2.1 Uoma-allas ilman ravinteiden talteenottoa

Perusvaihtoehtona oleva uoma-allaslaitos (6 uoma, 800 m³ per uoma) ilman poistoveden puhdistusjärjestelmää kasvattaa fosforiluvan puitteissa 116 tn kalaa (perkaamaton loppumassa). Allasinvestoinnin arvo on ruokintajärjestelmään (ohjausyksikkö ja kaksi ruokinta-automaattia uoma kohden) ja vesityksineen 155 000 €. Lisäksi perusinvestointeihin kuuluivat myös ajoneuvot, 50 000 €, perkaamo kalustoineen 75 000 € sekä muita menoja 20 000 € lähinnä laitoksen suunnitteluun ja koneistamiseen. Jokirantaa sisältävän maa-alan arvoksi laskettiin 150 000 €. Tontin takaisinmaksuajaksi laskettiin 40 vuotta, altaiden ja perkaamon 15 vuotta ja muiden perusinvestointien poistoajaksi käyttöiästä riippuen 5-10 vuotta. Kokonaisinvestointi on noin 450 000 € ja investoinneista aiheutuva vuotuinen kokonaiskulu on noin 27 000 € ja sen korkokulu noin 7 000 €. Nämä perusinvestoinnit kuoletaan myös kaikissa muissa tuotantovaihtoehdoissa.

Laitoksen arvioitiin työllistävän yrittäjän lisäksi yhden kokopäiväisen henkilön. Kalojen perkaukseen palkataan tilapäistä henkilöstöä.

3.2.2 Maa-uoma-altaiden kuormituksen vähentäminen lietetaskuilla

Tässä vaihtoehdossa kuormitusta pienennetään rakentamalla kuhunkin uoma-altaaseen lietetasku, josta liete imetään erilliseen säiliöön. Periaate on ollut yleisesti käytössä, ja sen puhdistustehoa ja kustannuksia ovat raportoineet muun muassa Selänne ym. (1983) ja Selänne (1988). Näiden julkaisujen perusteella uoma-altaiden lietetaskuilla oletetaan saatavan talteen 8 % fosforikuormituksesta. Kalaa voidaan tuottaa noin 126 tonnia. Yritys investoi yhteen lisäuomaan ja sen vaatimaan ruokinta-automaatioon. Lisähapetusta ei tarvita, koska poistoveden happi olisi alhaisimmillaan hieman yli 5,0 mg/l. Lisähapetukseen oletettiin investoitavan vasta, kun laskennallinen poistoveden happipitoisuuden laskee alle 5,0 mg/l.

Lietteenpoistojärjestelmässä on seitsemän lietetaskua ja lietteen imujärjestelmä säiliöineen, joiden arvioitiin asennuksineen maksavan 54 000 € ja poistoajan olevan 10 vuotta. Lietetaskujen tyhjennyksen ja lietetaskujen kunnossapitoon vaadittavien huoltotöiden arvioitiin lisäävän henkilöstön työmäärää viisi tuntia kalatonna kohden (Engle ym. 2005). Arvio on peräisin yhdysvaltalaisilla uoma-allaslaitoksilla tehdystä laajasta kyselystä, ja sen katsottiin edustavan riittävästi myös kotimaisia olosuhteita, josta vastaavaa tietoa ei ole saatavilla. Kokonaisinvestointi on yhteensä 526 000 €.

3.2.3 Maauoma-altaiden saneeraus pyöröaltaiksi ja kuormituksen vähentäminen erillisviemäröinnillä

Koska maauoma-altaiden kuormituksen vähentäminen teknisin keinoin on erityisesti altaiden puutteellisen hydrauliiikan vuoksi hankalaa (Ritola 1992), tässä vaihtoehdossa puhdistusta tehostetaan saneeraamalla uoma-altaat 230 m³:n pyöröaltaiksi. Kalojen kasvatustiheysrajoitus 50 kg/m³ perkausten alkaessa huomioiden, kuuden uoma-altaan tilalle tarvitaan 14 pyöröallasta. Altaat (ml. maansiirto ja asennukset), kunkin altaan vieressä olevat pystyselkeyttimet, ruokinta ja putkitukset maksavat 490000 €. Näin mittavassa saneerauksessa erityisesti maapohjan asettamat vaatimukset vaikuttavat voimakkaasti toteutuviin kustannuksiin, ja arviomme on laskettu helppojen rakennusolosuhteiden perusteella.

Kun kaloihin sitoutumattomasta fosforista saadaan 25 % talteen, 700 kilon fosforikiintiöllä voidaan tuottaa noin 154 tonnia kirjolohta. Poistoveden happipitoisuus laskee 9 viikoksi alle 5 mg:n/l. Tämän vuoksi laitoksessa joudutaan investoimaan järjestelmään, jolla veteen voidaan lisätä happea, enimmillään noin 100 litraa minuutissa. Happigeneraattorin, kompressorin sekä luotuskolonnin oletetaan maksavan 43 000 €.

Altaiden keskeltä pohjalta poistetaan 10 % virtaamasta pystyselkeytykseen ja tästä virtaamasta 5 % lieteveden jatkokäsittelyyn. Loput 90 % virtaamasta poistuu altaan sivusta ilman käsittelyä. Altaan keskeltä poistettua lietevedettä kertyy 7 l/s eli 600 m³/vrk. Olemme olettaneet, että lietevesi tiivistetään pienessä rakennuksessa flotaatiolla tai hihnasuodattimella, joilla voidaan päästä noin 10 % kuiva-ainetta sisältävään kompostoitavaan tai lannoitteeksi käytettävään lietteeseen. Flotaatioyksikkö ja sen vaatima rakennus ja putkitus on 74 000 €:n investointi.

Lisääntyvä työmäärä on huomioitu tuotantomäärään sidottujen muuttujien (altaiden määrä, lieteveden poisto, perkaus) avulla niin, että uoma-allaskasvatukseen verrattuna tarvitaan noin 9 henkilötyökuukautta enemmän.

3.2.4 Pyöröaltaiden kuormituksen voimakas vähentäminen siivilöinnillä

Edellä kuvatun kiintoaineen keskipoiston ja pystyselkeytyksen lisäksi tässä laskentavaihtoehdossa investoidaan altaiden sivusta poistuvan päävesijakeen ja pystyselkeyttimen pintavesijakeen siivilöivään rumpusuodatukseen. Oletamme, että kohtuullisen kookkaalla noin 100 mikrometrin viiralla järjestelmä poistaa 50 % fosforikuormituksesta. Rumpusiivilän mitoituksessa on huomioitu laitoksen virtaama. Lieteveden mitoituspäätökseen oletetaan, että rumpusiivilän takaisinhuuhteluvesi lisää jatkokäsittelyyn päätyvää lietevedettä prosentin koko virtaamasta, eli noin 1 200 m³ vuorokaudessa. Lietevettä tiivistetään kuten edellisessäkin vaihtoehdossa niin, että kasvavan lieteveden määrä on huomioitu flotaatioyksiköiden määrässä. Rumpusuodatus ja flotaatiot ovat rakennuksineen ja putkituksineen 320 000 €:n investointi.

Fosforikuormituslupa sallii noin 230 tonnin kasvatuksen. Altaita tarvitaan 21, jotta tiheys ei ylitä perkauskauden alussa 50 kg/m³. Altaat, putkitukset ja ruokintalaitteisto maksaa noin 730 000 €. Korkeat biomassat edellyttävät järjestelmää, joka tuottaa happea noin 350 litraa minuutissa. Ilman hapetusta happipitoisuus olisi 14 viikon ajan alle 5 mg/l, alimmillaan noin 1 mg/l. Luotettava hapen lisäysjärjestelmä olisi siten kalojen elossapidon elinehto. Hapetusjärjestelmä maksaa 80 000 €.

Lisääntyvä työmäärä on huomioitu tuotantomäärään sidottujen muuttujien (altaiden määrä, lieteveden poisto, perkaus) avulla niin, että uoma-allaskasvatukseen verrattuna tarvitaan noin 21 henkilötyökuukautta enemmän.

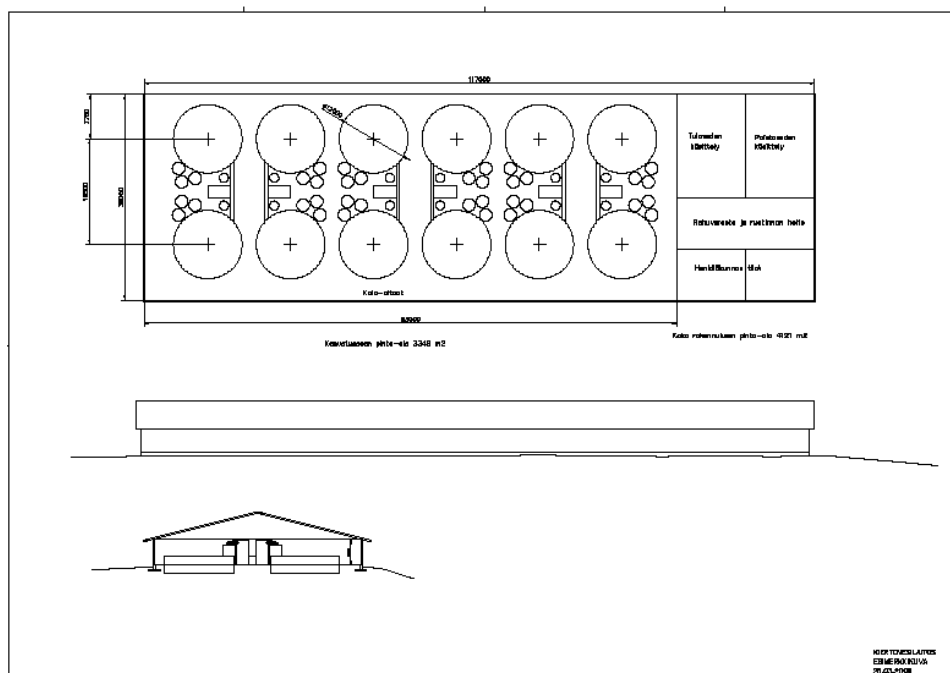
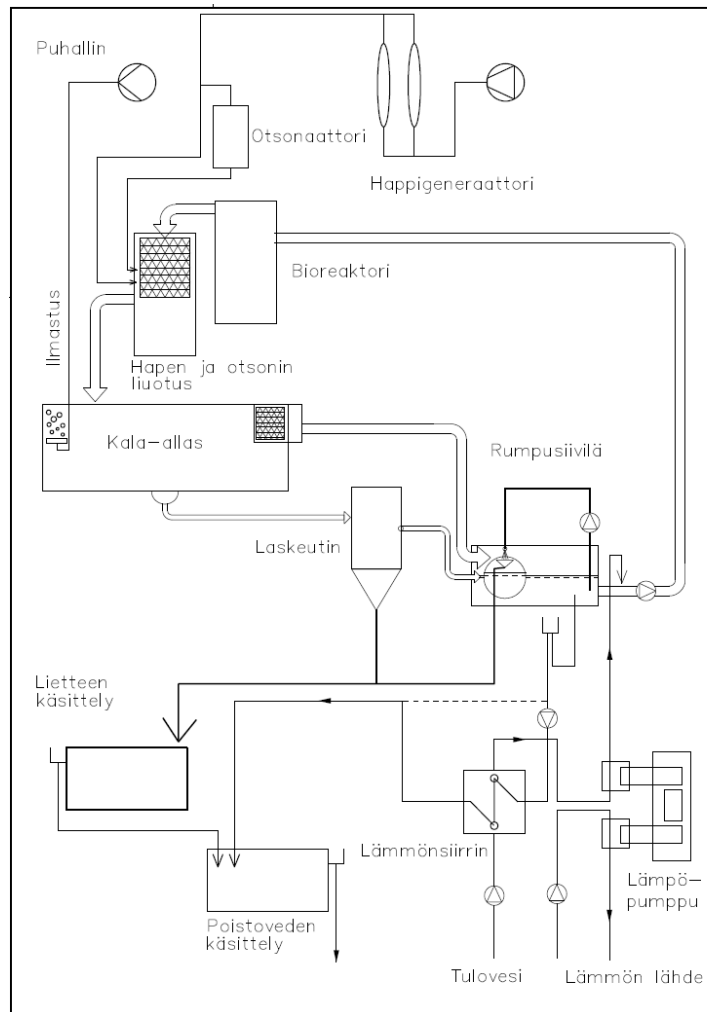
3.2.5 Kirjoloihen kasvatusta kiertovesilaitoksessa

Kiertovesikasvatuksessa ravinteiden poistoteho riippuu erityisesti veden kierrätysasteesta, sillä poistettavan veden määrä vaikuttaa ravinteiden tiivistymiseen ja siten jatkokäsitteltävän lieteveden määrään. Suomessa toimivien kiertovesilaitosten tietojen perusteella sekä kappaleessa 2 esitettyjen periaatteiden mukaisesti tätä tutkimusta varten suunnitellun laitoksen fosforin puhdistustehoksi oletetaan perusvaihtoehdossa 70 % kaloihin sitoutumattomasta fosforista, jolloin ominaiskuormitus on 1,9 g P/kg lisäkasvua. Vuodessa kasvatettavan kalan perkaamaton loppumassa on 385 tn.

Kiertovesilaitoksessa on 12 halkaisijaltaan 12 metrin ja syvyydeltään kolmen metrin (tilavuus 340 m³) allasta. Kullakin altaalla on oma vedenkäsittelyjärjestelmänsä, joka on suunniteltu ja mitoitettu kappaleen 2.4 periaatteiden mukaisesti (kuva 3). Yhdelle kasvatusaltaalle on kolme bioreaktoria ja kaksi hapetus- ja otsonointitornia. Jokaiselle altaalle on oma puhallin, joka ilmastaa veden altaassa, sekä rumpusuodatin, joka poistaa kiintoaineen altaan sivusta poistuvasta päävesijakeesta ja altaan vieressä olevan pystyselkeyttimen pintapoistosta. Yksi happigeneraattori tuottaa hapen kolmelle altaalle kun taas otsonigeneraattori on yhteinen neljälle altaalle. Pystyselkeyttimen pohjalle laskeutunut lietevesi ja rumpusiivilän huuhteluvesi tiivistetään flotaation avulla. Veden korvausasteeksi oletetaan 40 % allastilavuudesta vuorokaudessa, eli korvausvettä tulee noin 20 l/s. Tulovesi lämmitetään ottamalla lämmönsiirtimillä ja lämpöpumpulla talteen poistuvan veden lämpö. Kalat ruokitetaan kiskoa pitkin kulkevan ruokintarobotin avulla. Altaat sijaitsevat 4 100 m²:n hallissa, jossa myös toimisto, varasto- ja huoltotilat sijaitsevat.

15 asteessa kalat kasvavat 50 grammasta tässä tutkimuksessa oletettuun 1 300 gramman markkinakoon 28 viikossa, jolloin perattavia eriä valmistuu keskimäärin kahden viikon välein. Käytännössä kalaa myydään ulos viikoittain. Ennen perkausta kaloja pidetään altaassa, johon järjestetään tuoreen veden läpivirtaus.

Altaiden, työtasojen, bioreaktoreiden, ja hapetustornien investointi olisi 924 000 €. Tuotantorakennus maksaa 850 000 €. Veden lämmitys-, hapetus- ja otsonointijärjestelmä maksaisi 410 000 €. Vettä altaissa kierrättävät pumput, allasilmastus ja rumpusuodattimet olisi yhteensä 288 000 €:n menoerä. Tuloveden pumppaus, vesityslinja, putkitukset vedenkäsittelyjärjestelmässä ja lieteveden jatkokäsittelyn investoinnit olisivat 218 000 €. Ruokintajärjestelmä, sähköasennukset, hälytys ja varavoima maksaisi 200 000 €. Asennustyöhön ja suunnitelmiin kuluu 560 000 €. Poistoajat ovat 5-15 vuotta niin, että hälytyslaitteilla ja pumpuilla poisto-aika on lyhyt kun taas altailla, reaktoreilla ja tuotantorakennuksella pidempi. Yhteensä kalojen kasvatukseen on investoitu noin 3,9 miljoonaa €, ml. alkuperäisen uoma-allaslaitoksen investoinnit.



Kuva 3. Kiertovesilaitoksen vedenkäsittelyn virtauskaavio ja hallin tilasuunnitelma.

3.2.6 Maaomalaitoksen kuormituksen vähentäminen erittäin vähäfosforisen rehun avulla

Edellä kuvatuissa vaihtoehdoissa yli 500 g:n kaloille ruokitaan rehua, jossa on fosforia 9 g/kg. Vähäfosforisessa rehussa oletettiin olevan 7 grammaa fosforia rehukiloa kohden. Kalliimmat raaka-aineet, erityisesti kasviperäiset jalostetut proteiinit, fytaasin käyttö sekä rehutehtaan nousevat tuotantokustannukset prosessin hidastumisen vuoksi nostavat rehun hintaa. Vähäfosforisen rehun oletetaan maksavan 20 % normaalia rehua enemmän. Kirjolohta voitaisiin luvan rajoissa kasvattaa 149 tonnia, jos yli puolen kilon kaloja syötetään vähäfosforisella rehulla. Jotta kalatiheys ei ylitä 25 kg/m^3 , tarvitaan kaksi uutta uoma-allasta, eli yhteensä kahdeksan uoma-allasta. Poistoveden happipitoisuus laskee yhdeksäksi viikoksi alle 5 mg:n/l . Laitoksen kustannuksiin on siten lisätty järjestelmä, joka voi tuottaa veteen noin 100 l/min happea. Kokonaisinvestoinnit ovat noin $530\,000 \text{ €}$. Rehun vaihtaminen ei vaikuta kasvatuksen työkustannuksiin, mutta lisää perkauskustannuksia.

4. Tulokset

4.1 Ympäristötoimien vaikutus tuotantokustannuksiin ja kannattavuuteen

Uoma-allaskasvatus ilman ravinteiden talteenottoa on laskennan perusvaihtoehto, johon fosforikuormitusta alentavia tuotantomenetelmiä verrataan. Laskelmissa oletettiin, että fosforikuormituksen alentamisen myötä tuotantoa voidaan kasvattaa kuormitusluvan rajoitteessa. Tällä oletuksella kiertovesilaitoksessa voidaan kasvattaa yli kolme kertaa enemmän kirjolohta kuin tavallisessa uomalaitoksessa (Taulukko 2). Rumpusiivilöintiä käyttävä pyöröallaslaitos voi kasvattaa kaksinkertaisen määrän kalaa, kun muissa vaihtoehdoissa tuotantoa voidaan lisätä korkeintaan kolmanneksella.

Ominaiskuormituksen vähentäminen nosti kaikilla eri ympäristötoimilla kirjolohen normaaliomakustannusarvoa (Taulukko 2). Eri ympäristötoimista pienin tuotantokustannuksen nousu oli siirryttäessä ison kalan ruokinnassa vähäfosforiseen rehuun, jolloin omakustannusarvo nousee vajaa 10 snt/kg. Vaikka rehukustannukset kasvavat, kalan omakustannusarvo pysyy lähes muuttumattomana, koska tuotantoa voidaan kasvattaa ilman mittavia investointeja. Korkeimmat tuotantokustannukset syntyivät kirjolohen kiertovesikasvatuksessa, jossa NOKA nousi noin 120 snt/kg erityisesti investointien ja energiakustannusten vuoksi. Altaiden saneeraus pyöröaltaiksi ja poistoveden puhdistus joko pelkällä laskeutuksella tai lisäksi rumpusiivilöinnillä nosti tuotantokustannuksia noin 35 snt/kg. Kun laskeutusta tehostettiin siivilöinnillä, tuotantomäärän kasvu kompensoi rumpusiivilöinnistä ja lietteen käsittelystä aiheutuneet lisäkustannukset.

Uoma-altaissa tuotetun kirjolohen omakustannusarvo oli (laskennassa käytetyllä kustannusrakenteella) 3,24 €/kg. Tuotantokustannukset nousevat kaikissa muissa vaihtoehdoissa. Kustannusten kasvu on pienin vaihtoehdolle, jossa käytetään vähäfosforista rehua. Nousu oli puolestaan suurin kiertovesilaitokselle, jossa investoinnit ja energiakustannukset kasvavat roimasti. Kiertovesilaitoksen omakustannusarvo on 37 % suurempi kuin perustuotantomuodon. Kiertovesilaitoksessa vuotuiset kustannukset ovat jo noin 1,7 miljoonaa euroa.

Muissa vaihtoehdoissa omakustannusarvo nousi 5–11 %. Vähäravinteista rehua käyttämällä nousu oli selvästi pienempi kuin ravinteita poistava pyöröallasvaihtoehto, jossa käytettiin pystyselkeytintä. Rumpusiivilöiden hankinta pyöröaltaisiin laskee omakustannusarvoa prosenttiyksikön, koska tuotantoa voidaan puhdistustehon lisääntyä kasvattaa huomattavasti.

Kiertovesilaitoksessa sekä muuttuvat että kiinteät kustannukset nousivat eniten. Energiakustannukset ovat merkittävä menoerä. Myös muissa pyöröallasvaihtoehdoissa investoinnit olivat suuria. Investointitukien vaikutus on merkittävin kiertovesilaitosinvestoinnissa, jossa investointien arvo on huomattavasti muita vaihtoehtoja suurempi. Muissa tuotantomuodoissa työvoimakustannusten kasvu lisäsi eniten kustannuksia. Vähäfosforista rehua käytettäessä rehukustannuksetkin kasvavat, mutta koska tuotantoa voidaan kasvattaa ilman mittavia investointeja, kalan omakustannusarvo pysyy työ- ja rehukustannusten kasvusta huolimatta lähes muuttumattomana.

Kiertovesilaitoksen tuotot ovat kalakiloa kohti suurimmat, koska kalasta oletetaan saatavan korkeampaa hintaa, sillä tasainen tuotanto voidaan paremmin myydä kysynnän mukaisesti. Lisäksi investointituet ovat suuremmat. Tuottojen kasvu ei kuitenkaan ole riittävä verrattuna tuotantokustannusten nousuun.

Kirjoloihen kasvatus tuotti laskennan kustannusrakenteella tappiota kaikissa kasvatusten menetelmissä. Taloudellinen tulos oli normaalissa uomakasvatuksessa ja vähäravinnepitoista rehua käytettäessä parempi kuin muissa vaihtoehdoissa. Kaikki ympäristöinvestoinnit nostivat omakustannusarvoa ja olivat siten perusvaihtoehtoon verrattuna kannattamattomia, vaikka tuotantoa oletettiin voitavan ravinneluvan rajoitteissa kasvattaa.

Taulukko 2. Kirjolojen tuotantomäärä ja kasvatuksen kustannusrakenne, normaaliomakustannusarvo ja taloudellinen tulos eri tuotantomenetelmillä kun vuosittainen fosforikuormitus on 700 kg.

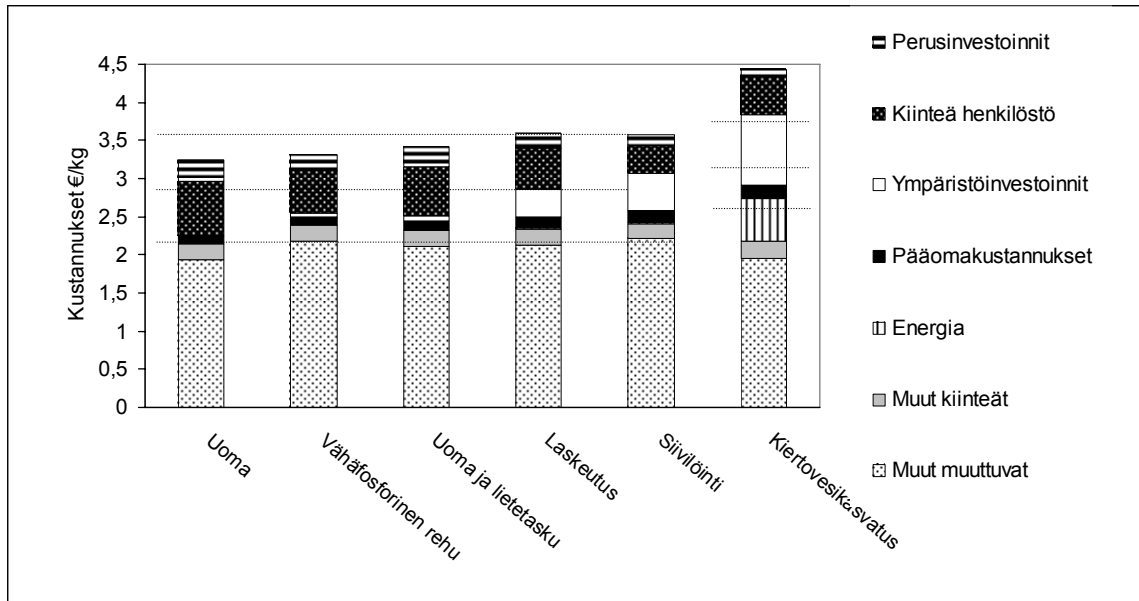
	Uoma-allas	Uoma-allas ja lietatasku	Pyöröallas ja keskipoisto	Pyöröallas, keskipoisto ja rumpusiivilöinti	Uoma-allas ja vähäfosforinen rehu	Kiertovesilaitos
Tuotanto, kg perattua kalaa	97 070	105 511	129 427	194 140	124 792	323 659
		9 %	33 %	100 %	29 %	233 %
Muuttuvat kustannukset, €/kg	1,98	2,16	2,18	2,27	2,23	2,53
Kalanpoikaset	0,37	0,37	0 %	0,37	0,37	0 %
Rehu	1,20	1,20	0 %	1,20	1,36	13 %
Henkilöstö	0,16	0,33	110 %	0,43	0,25	58 %
Energia	0,01	0,01	-8 %	0,02	0,01	-7 %
Muut muuttuvat	0,21	0,21	0 %	0,21	0,21	0 %
Muuttuvat pääomakustannukset	0,03	0,03	9 %	0,03	0,03	13 %
Kiinteät kustannukset, €/kg	1,26	1,42	1,42	1,30	1,09	1,91
Ympäristöinvestoinnit	0,00	0,07	0 %	0,49	0,06	0 %
Muut investoinnit	0,28	0,26	-8 %	0,14	0,22	-22 %
Henkilöstö	0,71	0,65	-8 %	0,36	0,55	-22 %
Hallintokustannukset	0,20	0,20	0 %	0,20	0,20	0 %
Kiinteät pääomakustannukset	0,07	0,08	7 %	0,12	0,06	-9 %
NOKA, €/kg	3,24	3,41	3,60	3,57	3,32	4,44
		5 %	11 %	10 %	3 %	37 %
Tuotot yhteensä, €/kg	2,86	2,88	2,99	3,03	2,88	3,44
		1 %	4 %	6 %	1 %	20 %
Myyntituotot €/kg	2,86	2,86	0 %	2,86	2,86	0 %
Investointituet €/kg	0,00	0,02	0,13	0,17	0,02	0,32
Voitto/Tappio, €/kg	-0,38	-0,53	-0,61	-0,54	-0,44	-0,99

4.2 Kirjoloihen myyntihinnan vaikutus tuotannon kannattavuuteen

Kirjoloihen hintaoletus vaikuttaa voimakkaasti tuotannon kannattavuutta ennustaviin tuloksiin. Taulukon 2 laskelmissa käytettiin kymmenen vuoden keskiarvoja, vaikka todellisuudessa kirjoloihen hinta vaihtelee suhdanteittain. Seuraavaksi tarkastelemme miten hintojen vaihtelu vaikuttaa eri tuotantomenetelmien kannattavuuteen. Vertaamme omakustannusarvoja viimeisen vuosikymmenen korkeimpiin ja matalimpiin hintoihin ja arvioimme millaisella kustannusrakenteella tuotantoa voidaan eri suhdannevaihteluissa harjoittaa.

Kirjoloihen kasvatusta ei ollut millään tuotantomenetelmällä kannattavaa kymmenen vuoden keskimääräisellä hintatasolla (Kuva 4). Uoma-allaskasvatustavoihtoehdot (sisältäen vähäfosforisen rehun käytön) olisivat kuitenkin kannattavat, jos yrityksen perusinvestoinnit olisi kuoletettu ja yritys tinkisi palkastaan. Pyöröallasvaihtoehdot olisivat kannattavia vain lohimarkkinoiden noususuhdanteen aikana jos oletetaan, että uusia investointeja tuetaan ja perusinvestoinnit olisivat kuoletettuja. Kirjoloihen kierto-vesikasvatusta ei näilläkään ehdoin osoittautunut kannattavaksi. Laskukauden heikoimpina aikoina kaikilla tuotantotavoilla saatiin katettua vain muuttuvat kulut.

Laskimme myös millä myyntihinnalla tuotanto olisi tuki huomioiden kannattavaa. Perusvaihtoehdoista olisi kannattava kun kirjoloihen myyntihinta on 3,24 €/kg. Vähäfosforisella rehulla kasvatettaessa myyntihinnan tulisi olla 3,30 €/kg. Kiertovesiviljelystä kirjoloihesta tulisi saada 4,12 €/kg. Muilla menetelmillä myyntihinnan tulisi olla 3,39 – 3,47 €/kg.

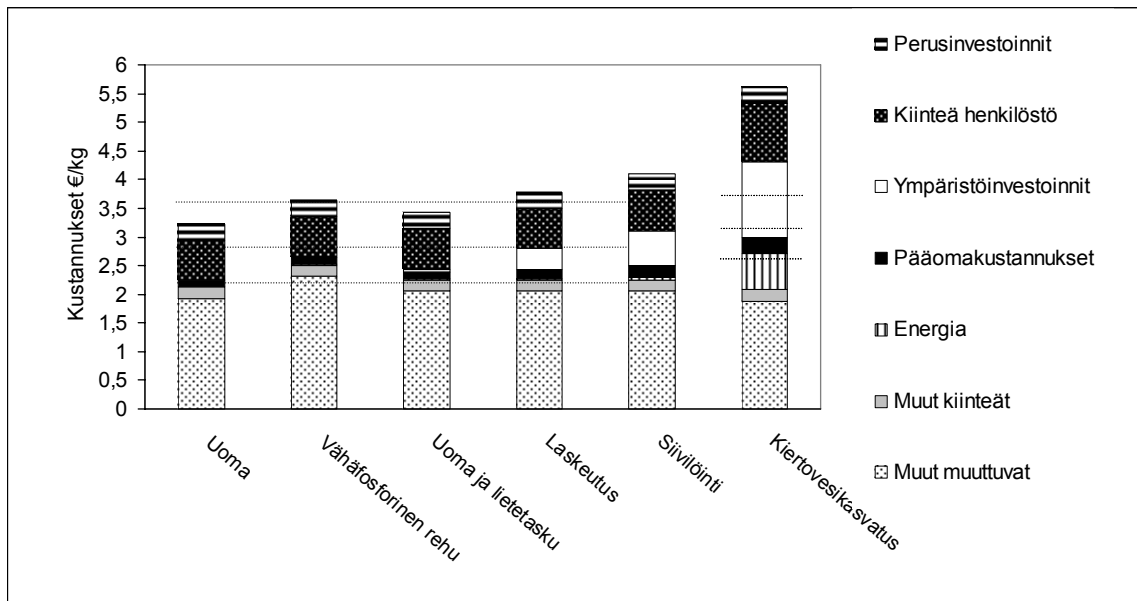


Kuva 4. Kirjolojen omakustannusarvo eri tuotantomenetelmillä. Keskimääräiset, ylimmät ja alimmat vuosittaiset ja marraskuun tuottajahinnat vuosina 1996-2005¹ on esitetty katkoviivoin.

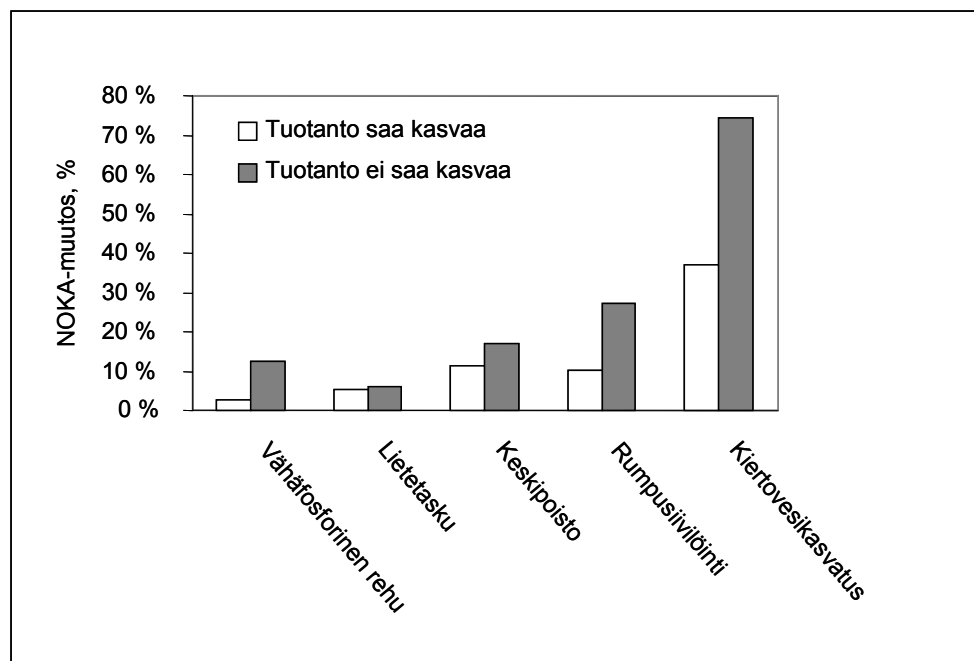
4.3 Tuotantomäärän rajoittamisen vaikutus kannattavuuteen

Jos tuotantoa ei saa ympäristöinvestointien tai vähäfosforisen rehun myötä nostaa, tuotantokustannukset nousevat huomattavasti ja kirjolojen kasvatus ei olisi millään tarkastellulla ympäristötoimella keskimääräisin tuottajahinnoin kannattavaa, vaikka perusinvestoinnit olisi kuoletettu ja yrittäjä luopuisi kokonaan palkastaan (Kuva 5). Korkeimmankin mahdollisen hintatason aikana kasvatus olisi kannattavaa vain uomavaihtoehtoissa. Kirjolojen kiertovesikasvatus tuottaisi huomattavia tappioita. Omakustannusarvo kasvaa merkittävästi erityisesti investointeja vaativissa kasvatusmenetelmissä, koska tuotannon kasvulla ei voi enää kompensoida kustannusten kasvua (Kuva 6). Esimerkiksi kiertovesikasvatuksen omakustannusarvo olisi noin 5,6 €/kg noin 115 tonnia kasvattavassa laitoksessa.

¹ Laskennassa käytettiin vuosien 1996-2005 marraskuun keskihintaa, joka oli 2,86 €/kg. Ajanjaksolla alin hinta oli 2,17 marraskuussa 2001 ja ylin 3,56 €/kg marraskuussa 1999. Kiertovesilaitoksessa käytettiin ajanjakson vuosien keskihintaa, joka oli 3,12 €/kg. Alin vuosikeskihinta oli 2,63 €/kg (2002) ja ylin 3,69 €/kg (2000).



Kuva 5. Kirjolojen omakustannusarvo eri tuotantomenetelmillä kun tuotanto ei kasva ympäristötoimien jälkeen. Keskimääräiset, ylimmät ja alimmat vuosittaiset ja marraskuun tuottajahinnat vuosina 1996–2005 on esitetty katkoviivoin, selitys kuvan 4 yhteydessä.



Kuva 6. Kirjolojen omakustannusarvon suhteellinen muutos uoma-allaslaitokseen verrattuna. Tuotanto kasvaa ja kuormitus pysyy samana, valkoiset pylväät. Tuotanto pysyy samana ja kuormitus pienenee, tummat pylväät.

4.4 Puhdistustehon epävarmuuden merkitys tuotantokustannuksiin

Puhdistustehon arviointiin liittyy epävarmuutta, joka johtuu erityisesti teknisen toteutuksen yksityiskohdista. Taulukossa 4 esitetään omakustannusarvot tilanteessa, jossa ravinteiden poistotehokkuus poikkeaa edellä esitetyistä todennäköisimmiksi olettamistamme arvoista. Pyöröaltaisiin perustuvissa ratkaisuissa kirjolohon tuotantokustannus olisi uoma-allaskasvatusta noin 20–30 snt/kg korkeampi, vaikka puhdistusteho olisikin 10 prosenttiyksikköä oletettua suurempi. Vähäravinteisen rehun fosforipitoisuutta pitäisi pudottaa peräti 3 g P/kg (9 g P/kg => 6 g P/kg), jotta kasvatus olisi yhtä kannattavaa kuin ilman ympäristötoimia toimivassa uoma-allaslaitoksessa. Kiertovesikasvatuksessa puhdistustehon nousu 10 prosenttiyksiköllä nostaisi peratun kirjolohon määrää noin 160 tonnia, mutta toiminta tuottaisi yhä tappiota, yli 300 000 euroa vuodessa.

Taulukko 4. Puhdistustulosten vaihtelun vaikutus tuotantokustannuksiin. Keskimäinen sarake edustaa laskennassa normaalisti oletettua puhdistustehoa. NOKA-muutos kertoo kuinka paljon kasvatusmenetelmän normaaliomakustannusarvo muuttuu uoma-allasvaihtoehdon omakustannusarvosta kun puhdistusteho muuttuu.

	----- Uoma-allas ja lietetasku -----		
Puhdistusteho	4 %	8 %	12 %
Ominaiskuormitus, kg P per tn lisäkasvua	6,1	5,8	6,3
NOKA-muutos, €/kg	-0,22	-0,17	-0,13
	----- Pyöröallas ja keskipoisto -----		
Puhdistusteho	15 %	25 %	35 %
Ominaiskuormitus, kg P per tn lisäkasvua	5,4	4,7	4,1
NOKA-muutos, €/kg	-0,43	-0,36	-0,27
	----- Pyöröallas, keskipoisto ja rumpusiivilöinti -----		
Puhdistusteho	40 %	50 %	60 %
Ominaiskuormitus, kg P per tn lisäkasvua	3,8	3,2	2,5
NOKA-muutos, €/kg	-0,44	-0,33	-0,20
	----- Uoma-allas ja ison kalan vähäfosforinen rehu -----		
Rehun fosfori yli 500 g:n kalalle ruokittuna	8 g/kg (11%)	7 g/kg (22%)	6 g/kg (33%)
Ominaiskuormitus, kg P per tn lisäkasvua	5,6	4,9	4,2
NOKA-muutos, €/kg	-0,16	-0,08	0,01
	----- Kiertovesikasvatus -----		
Puhdistusteho	60 %	70 %	80 %
Ominaiskuormitus, kg P per tn lisäkasvua	2,5	1,9	1,3
NOKA-muutos, €/kg	-1,47	-1,20	-0,87

5. Tulosten tarkastelu

Tutkimuksessa tarkastellut ympäristötoimet osoittautuivat kirjolohen kasvatuksessa yritystaloudellisesti kannattamattomiksi, vaikka fosforin ominaiskuormituksen vähentyminen saatiin täysimääräisesti hyödyntää tuotantoa kasvattamalla. Toimet eivät kannata, ellei kustannusrakenne ole kevyempi tai tuotteesta saatu hinta korkeampi kuin laskelmissa on oletettu. Fosforikuormitusta alentavat toimet ovat parhaissakin markkinatilanteissa taloudellisesti kestävämpiä, jos yritykset eivät voi kompensoida lisäkustannuksia tuotantoa lisäämällä.

Nykyistä vähäfosforisemman rehun käyttö osoittautui yritystaloudellisesti lupaavimmaksi vaihtoehdoksi. Rehulla ruokittaisiin isoja kaloja, koska ne eivät ole yhtä herkkiä fosforin puutokselle kuin poikaset. Myös suurin osa kuormituksesta ajoittuu poikaskasvatuksen jälkeiseen kasvatukseen. Uusien rehujen käyttö ei edellytä kasvattajalta uusia investointeja eikä lisää työkustannuksia. Niiden käyttöönotto on vaivatonta eikä vaadi henkilöstön koulutusta eivätkä tuotantotekniikan peittäminen liittyvät riskit kasva. Entistä vähäfosforisemman rehun tuotannolliset ominaisuudet olisi kuitenkin tunnettava hyvin, sillä fosforin liiallinen vähentäminen saattaa heikentää eläinten hyvinvointia (luustovaurioiden riski) ja elintarvikelaatua (kiihtyvä rasvoittuminen). Poikasrehujen fosforipitoisuutta ei voida nykytiedolla enää pienentää, eikä suurta edistymistä isojen kalojen rehuissa ole odotettavissa.

Kalajauhon niukkuus hankaloittaa vähäfosforisen kalajauhon hankintaa ja lisää rehuteollisuuden tarvetta löytää vaihtoehtoisia valkuaislähteitä (Tavenius 2005). Vaihtoehtoiset valkuaislähteet sisältävät usein myös vähemmän fosforia. Erittäin vähäfosforinen rehu edellyttää rehuteollisuudelta tuotekehitystä ja mahdollisesti rehun hintaa lisääviä investointeja. Toisaalta valkuaislähteiden hintasuhteet voivat muuttua vähäfosforisia raaka-aineita suosiviksi. Tällöin erittäin vähäfosforiseen rehuun siirtyminen olisi kannattavampaa kuin olemme laskeneet.

Fosforin tehokas poisto edellyttää kiintoaineen nopeaa käsittelyä. Pyöröaltaan lisäksi kiintoaineen poistoa voitaisiin tehostaa uoma-aldaiden osituksilla ja tehostamalla veden virtausta pumpaamalla (Ebeling ym. 2005). Tämän tekniikan toimivuutta tulisi käytännössä kokeilla suomalaisissa uoma-allasyrityksissä samalla kun yritystaloudellisista vaikutuksista kerättäisiin tietoa.

Veden osittaiskierrätyksellä voidaan tehostaa vedenkäyttöä, jolloin ravinteiden poisto on pienemmästä vesimäärästä helpompaa. Osittaiskierrätyksessä vettä pumpataan, jolloin kiintoaineen poisto helpottuu kun virtaus kasvaa. Vesi voidaan myös ilmastaa hapen lisäämiseksi ja hiilidioksidin poistamiseksi sekä tarvittaessa siivilöidä. Edellytyksenä on, että laitoksella on käytössään riittävän viileää vettä, koska vesi lämpenee kierrätettäessä. Viileän veden puute saattaa useimmilla suomalaisilla laitoksilla vaikeuttaa osittaiskierrätystä kirjolohen kasvatuksessa, mutta se voisi tarjota kilpailukykyisen mahdollisuuden kasvattaa lämpimämpää vettä tarvitsevia lajeja. Menetelmän kustannusvaikutuksia ei ole arvioitu Suomessa.

Pyöröallaskasvatusta, tehokasta laskeutusta ja siivilöintiä ei ole Suomessa sovellettu ruokakalan kasvatukseen. Investointien kannattavuuden on arveltu olevan heikko, minkä johtopäätöksen tämäkin tutkimus vahvistaa. Pyöröaldaiden osuus tuotantokustannuksesta on noin 30 snt/kg, joten pyöröaltaisiin perustuvien puhdistustapojen kannattavuutta voidaan parantaa uusilla edullisemmilla allasratkaisuilla ja vähentämällä alaiden tarvetta kalatiheyttä nostamalla sekä keskibiomassaa tasaamalla.

Tässä tutkimuksessa lietevedtä on oletettu tiivistettävän flotaation avulla. Teknisesti yksinkertaisempaa olisi, jos lieteveden määrää voitaisiin pienentää esimerkiksi tyhjentämällä pystyselkeyttimet automaattisesti. Tällöin lietevesi voitaisiin tiivistää kemiaalien ja laskeutuksen avulla sen sijaan, että investoidaan flotaatioon tai vastaavaan lieteveden tiivistysjärjestelmään. Pystyselkeytyksessä flotaatioyksikön kustannusvai-

kutus oli noin 6 snt/kg ja lietteen keruun ja jatkokäsittelyn kustannusvaikutus oli 13 snt/kg. Automaation kehittäminen lietteen jatkokäsittelyyn voisi parantaa menetelmän taloudellisuutta.

Läpivirtauslaitoksille valittu tuotantorytmi, jossa kaikki kalat myydään loppuvuodesta, ei hyödynnä investointeja täysimääräisesti. Mikäli samankokoisia poikasia on mahdollista ottaa kasvatukseen vuoden eri ajankohtina, allaskapasiteetti saataisiin tehokkaammin käyttöön. Kuormituslupa ei sallisi tuotannon kasvua, mutta kustannusrakente keventyisi pienemmän allasmäärän vuoksi. Sisävesilaitoksilla on usein omaa poikastuotantoa, josta mahdollisesti saatavia kustannussäästöjä ei ole näissä laskelmissa huomioitu. Poikasten osuus tarkasteltujen kasvatusmuotojen kokonaiskustannuksista oli melko pieni, mutta työvoiman käyttöä voitaisiin poikasten tuottamisen avulla tehostaa. Myös kalan kasvattaminen suuremmaksi ja mädintuotanto voivat nostaa kasvatuksen kannattavuutta.

Kiertovesilaitos osoittautui laskelmien mukaan heikoimmin kannattavaksi kirjolohen kasvatusvaihtoehdoksi. Kiertovesikasvatuksessa tuotanto nousee samankokoisella kuormitusluvalla perinteisiä kasvatustekniikoita huomattavasti suuremmaksi. Kiertovesitekniikka avaa myös monia uusia mahdollisuuksia, joita tässä tutkimuksessa ei ole arvioitu.

Kiertovesikasvatus lisää mahdollisuutta säätää veden lämpötilaa, lämmittämällä tai jäähdyttämällä, koska korvausveden määrä pienentyy huomattavasti. Lämpötilan säädön taloudellisuutta kuhan kasvatuksessa ovat pohtineet tarkemmin Koskela ym. (2006). Lajivalikoiman monipuolistamisen lisäksi lämpötilan säätö mahdollistaa tuotannon paremman ajallisen kohdentamisen. Kiertovesikasvatetun tuotteen myyntihinta arvioitiin toteutuneiden vuosikeskiarvojen perusteella vajaa 10 % korkeammaksi kuin muilla menetelmillä. Tuotto voisi olla laskettua korkeampi, jos tuotanto ja myynti ajoitettaisiin markkinoiden kysynnän kannalta otollisimpiin ajankohtiin.

Teollisuuden yhteydessä kiertovesikasvatuksessa voidaan hyödyntää jäteveden puhdistuslaitoksia ja hukkalämpöä, mikä alentaa energia- ja investointikustannuksia laskennassa käytetyistä arvoista. Tuotanto voidaan myös sijoittaa lähemmäs markkinoita, jolloin kuljetuskustannukset laskevat ja tuoreen kalan tarjonta lähimarkkinoille helpottuu. Tällä on merkitystä ainakin väkirikkailla alueilla Keski-Euroopassa ja Yhdysvalloissa.

Kotimaiset kiertovesitekniikkaa käyttävät yritykset pyrkivät hyödyntämään kiertovesikasvatuksen keskeisiä menetystekijöitä, eli kasvattamaan arvokkaita ja tiheyttä sietäviä kalalajeja mahdollisuuksien mukaan laitokset teollisuuden yhteyteen sijoittamalla. Kiertovesikasvatuksen korkeiden investointi- ja käyttökustannusten vuoksi järjestelmän käyttöasteen tulisi olla hyvä. Tällöin keskeistä on tuotteesta saatavan hinnan lisäksi kasvatukseen tulevan alkumateriaalin jatkuva saanti, kalojen hyvä kasvunopeus ja korkeiden tiheyksien sieto.

Kalankasvatuksen teknistyminen muuttaisi elinkeinoa pääomavaltaisemmaksi. Suomalaisista kalankasvattajista useat ovat pieniä joustavia perheyriyksiä, jotka toimivat pienin investoinnein perustekniikalla. Niille toiminnan taloudellinen tuloskaan ei aina ole ensisijainen tavoite (Salmi ym. 2003). Merkittävät saneeraukset vaatisivat yritystrategian muutosta ja pitkäaikaisia rahoitusjärjestelyjä, johon kaikilla toimijoilla ei ole halua tai valmiuksia. Suomalaisen kalankasvatustyöryhmän mahdollisuutta ja halukkuutta investoida uuteen teknologiaan ei tunneta.

Tutkimuksen mukaan kirjolohen kasvatuksen kannattavuus on ilman ympäristöinvestointejakin tavallisissa uomalammikoissa heikko. Merialueella tuotantokustannukset ovat ainakin isommissa tuotantoyksiköissä matalammat kuin uoma-allaskasvatuksen, minkä vuoksi toimiala kokonaisuudessaan on ollut keskimääräisin hinnoin kannattavaa. Kirjolohen hinta on kuitenkin viimeisen vuosikymmenen aikana vaihdellut paljon lohimarkkinoiden suhdanteiden mukaan.

Laskusuhdanteen aikana tuotanto on monille yrityksille tappiollista. Osa yrityksistä pystyy ylläpitämään toimintaansa, koska vanhimmat investoinnit on kuoletettu ja yrittäjät ovat joustaneet omissa tuloissaan. Monet pienyrittäjät ovat huonoina aikoina joutuneet hankkimaan rehuja ja muita tuotannon tekijöitä velaksi. Vuosituhannen vaihteen jälkeen pienet yritykset ovat olleet hyvin velkaisia. Keskisuuret ja isot yritykset eivät myöskään ole investoineet ennen kuin vasta hiljattain kun kirjolohien hinnat ovat nousseet. Viimeisen vuosikymmenen aikana useat huonosti kannattavat yritykset ovat lopettaneet. (Honkanen ja Ahvonen 2005, Korhonen ym. 2005)

Vain harvat suomalaiset kasvattajat ovat pystyneet kasvamaan ja hyödyntämään suurtuotannon etuja laitosostojen kautta. Useimmilla vanhojenkin lupien uusiminen on ollut vaikeaa. Uusitut kasvatusluvut ovat pienentyneet ja niiden voimassaoloaika on lyhentynyt, mikä on entisestään heikentänyt kotimaisten kasvattajien kilpailukykyä (Salmi ym. 2004). Kasvua on haettu siirtämällä tuotantoa mm. Ruotsiin. Kalankasvatus on saavuttanut ja ylittänyt sille asetetut tavoitteet leikata kuormitustaan, mutta kestävän kehityksen taloudellisen ja yhteiskunnallisen ulottuvuuden kustannuksella.

Tutkimustulos vahvistaa elinkeinon edustajien usein esittämän käsityksen, että ravinnekuormituksen pienentäminen taloudellisesti kestävästi on erittäin vaikeaa. Vaikka tuotannon annettaisiin jatkossa kasvaa ravinnekuormituksen vähetessä, tarkastelluilla keinoilla on vaikea ylläpitää kannattavaa kirjolohituotantoa. Tarkastelluista vaihtoehdoista kannattavin tapa vähentää kuormitusta on edelleen rehujen kehittäminen, mutta siinäkin ei enää edistyä ilman omakustannusarvon nousua. Myös tuotantoriskien mahdollisuus kasvaa.

Kalankasvatuksen ekologista kestävyyttä voidaan parantaa ilman taloudellisesti kestäättömiä investointeja. Tällaisia keinoja ovat edelleen ruokintatekniikka, rehut, kala-aineksen valintajalostus ja erityisesti merialueella sijainninohjaus. Poistovesiä puhdistamalla samalla ravinnemäärällä voidaan tuottaa enemmän hyödykkeitä, mutta viime kädessä kuluttajan olisi oltava valmis maksamaan puhdistamisesta aiheutuvia kustannuksia. Aiemman kirjallisuuserelvityksen perusteella (Leino ym. 2004) ei ole odotettavissa, että ympäristömerkityn kalan kysyntä ja kuluttajan maksuhalukkuus olisi Suomessa kovin suuri.

Tukien ja muiden tuotekehityspanosten avulla elinkeinoa voidaan kehittää niin, että tekniikka palvelee poistoveden puhdistamisen ohessa tuotannon hallittavuutta muun muassa uusien kasvatustajien tuottamiseksi markkinoiden kysynnän mukaan.

Kiitokset

Kiitämme käsikirjoitusta kommentoineita Kaj Arvosta, Asko Kähköstä, Mauno Liukosta ja Timo Mäkistä. Työ rahoitettiin MMM:n elinkeinokalatalouden rakenneohjelmasta osana hanketta ”Uusi aalto - Kalankasvatuksen monipuolistuva tuotevalikoima ja uudet teknologiset tuotantoratkaisut”.

Kirjallisuus

- Christiansen J.S., Jobling M., Jørgensen E.H. 1990. Oksygen- og vannbehov hos laksefisk. Nye reviderte tabeller. Norsk Fiskeoppdrett nr. 10: 28-29.
- Cripps S.J., Bergheim A. 2000. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquaculture Engineering* 22: 33-56.
- Davidson J., Summerfelt S.T. 2004. Solids flushing, mixing, and water velocity profiles within large (10 and 150 m³) circular 'Cornell-type' dual-drain tanks. *Aquaculture Engineering* 32: 245-271.
- Davidson J., Summerfelt S.T. 2005. Solids removal from a coldwater recirculating system – comparison of a swirl separator and a radial-flow settler. *Aquaculture Engineering* 33: 47-61.
- Ebeling J.M., Timmons M.B., Joiner J.A., Labatut R.A. 2005. Mixed-cell raceway: engineering design criteria, construction, and hydraulic characterization. *North American Journal of Aquaculture* 67: 193-201.
- Engle C.R., Pomerleau S., Fornshell G., Hinshaw J.M., Sloan D., Thompson S. 2005. The economic impact of proposed effluent treatment options for production of trout *Oncorhynchus mykiss* in flow-through systems. *Aquaculture Engineering* 32: 303-323.
- Halme E. ja Orpana V. 1968. Lohenkasvattajan opas. 306 s. Toinen uusittu painos. WSOY Porvoo.
- Honkanen, A. ja A. Ahvonen. 2005. Kalatalousbarometri 2005. Yritysten taloudelliset näkymät. Kala- ja riistaraportteja 357. 29 s.
- Iwama G.K., Tautz A.F. 1981. A simple growth model for salmonids in hatcheries. *Canadian Journal for Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 649-656.
- Jokinen P. 1995. Tuotannon muutokset ja ympäristöpolitiikka. Ympäristösosiologinen tutkimus suomalaisesta maatalouden ympäristöpolitiikasta vuosina 1970-1994. *Annales Universitatis Turkuensis, sarja C* 116. 164 s.
- Karttunen E. 1985. Kalanviljelylaitosten poistovesien käsittelymenetelmät. Lisensiaattityö, Oulun yliopisto, Rakentamistekniikan osasto. 202 s.
- Kaukoranta E. 2005. Kalankasvatus. s. 26-28. Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005 – toteutumisen arviointi vuoteen 2003 asti. Suomen Ympäristö 811. Toim. J. Leivonen. Suomen Ympäristökeskus.
- Kause A., Ritola O., Paananen T, Mäntysaari E, Eskelinen U. 2003. Selection against early maturity in large rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: the quantitative genetics of sexual dimorphism and genotype-by-environment interactions. *Aquaculture* 228: 53-68.
- Kause A., Ritola O., Paananen T, Wahlroos H., Mäntysaari E, 2005. Genetic trends in growth, sexual maturity and skeletal deformations, and rate of inbreeding in a breeding programme for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 247: 177-187.
- Kause A., Tobin D., Houlihan D.F., Martin S.A.M., Mäntysaari E.A., Ritola O., Ruohonen K. 2006. Feed efficiency of rainbow trout can be improved through selection: Different genetic potential on alternative diets. *J. Anim. Sci.* 84: 807-817.
- Koskela J., Kankainen M., Naukkarinen M., Setälä J., Vielma J. 2006. Kuhan ruokakalakasvatuksen kannattavuus eri viljelymenetelmillä. Kala- ja riistaraportteja Käsikirjoitus

- Korhonen P., Nylander E., Setälä J., Söderkultalahti P., Vihervuori A., Ahvonen A. ja Honkanen A. 2005. Elinkeinokalatalouden nykytila ja kehitys. Kala- ja riistaraportteja nro 373. 50 s.
- Leino I., Setälä J. ja Saarni, K. 2004. Kirjallisuusselvitys luomuelintarvikkeiden kysynnästä ja kuluttajien maksuhalukkuudesta. Olisiko ympäristö- ja luomumerkitylle kalalle kysyntää? Riista- ja kalaraportteja nr. 299. 31 s.
- Losordo T.M., Hobbs A.O. 2000. Using computer spreadsheets for water flow and biofilter sizing in recirculating aquaculture production systems. *Aquaculture Engineering* 23: 95-102.
- Losordo T.M. 2005. Kiertovesitekniikan workshop Trondheimissa 9.-10.8.2005.
- Peuhkuri T. 2004. Tiedon roolit ympäristökiistassa. Saaristomeren rehevöityminen ja kalankasvatus julkisen keskustelun ja päätöksenteon kohteena. *Annales Universitatis Turkuensis*, sarja C 220. 270 s.
- Pursiainen M., Makkonen J. 1995. Jätefosforin ja –kiintoaineen virrat ja talteenotto kalanviljelyssä. Selvitys Saimaan vesiviljelyn aiheuttaman vesistökuormituksen osatekijöistä. Kalaraportteja 27. 17 s.
- Ritola O. 1992. Kalanviljelyn maauoma-altaiden tuotannolliset ominaisuudet ja ravinnekuormitus. Pro gradu-tutkielma. Kuopion yliopisto, soveltavan eläintieteen laitos. 116 s.
- Saarni K., Setälä J., Honkanen A., Virtanen, J. 2003. An overview of salmon trout aquaculture in Finland. *Aquaculture economics and Management*. Volume 7, No 56. p. 335-344.
- Salmi, J. , Mäkinen, T., Salmi, P. & Seppänen, E. 2004. Rannikkokalastus ja kalankasvatus Lounais-Suomen saaristossa. AQCESS- hankkeen sosio-ekonomiset havainnot. Kala- ja riistaraportteja 312.
- Salmi, J. , Mäkinen, T., Salmi, P. & Setälä, J. 2003. The socio-economic profile of fish farmers and their perspectives on aquaculture in the Archipelago Sea Region, Finland. Pages in *The proceedings of the XV EAFE Conference, session 3: Coastal Zone Management, 15-16 May, 2003, Ifremer, Brest, France*.
- Selänne A., Mäkinen T., Helkiö R. 1983. Kalankasvatusliete ja sen jatkokäsittely. Vesihallituksen monistesarja 173. 105 s.
- Selänne A. 1988. Maapohjaisten kalankasvatusaltaiden vesistökuormituksen vähentäminen. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 91. 138 s.
- Setälä J., Mickwitz P., Saarni K., Honkanen A., Virtanen J. 2003. The effect of trade liberation to the salmon market in Finland. In: *Fisheries in the Global Economy - Proceedings of the eleventh biennial conference of the International Institute of Fisheries Economics and Trade*. August 19-22, 2002. Wellington, New Zealand. International Institute of Fisheries Economics and Trade. IIFET. CD-ROM.
- Tavenius T. 2005. Kalajauhomarkkinat kriisitilanteessa. *Altaan Reunalla* 3/2005: 8-9.
- Timmons M.B., Ebeling J.M., Wheaton F.W., Summerfelt S.T., Vinci B.J. 2002. *Recirculating Aquaculture Systems*, 2nd Edition. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca NY.
- Tossavainen S. 1994. Kalankasvumallit ja niiden soveltaminen kirjolohen kasvatukseen. Pro gradu. Kuopion yliopisto: Soveltavan eläintieteen laitos.
- Watanabe W.O., Losordo T.M., Fitzsimmons K., Hanley F. 2002. Tilapia production systems in the Americas: technological advances, trends, and challenges. *Reviews in Fisheries Science* 10: 465-498.

Veitola K. ja Mäkinen T. 1996. Kalankasvatuksen ympäristöpolitiikka. Tavoitteiden ja tosiasiatietojen yhdistelmä. Kalatutkimuksia 118. 52 s. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.

Vielma J., Ruohonen K., Gabaudan J., Vogel K., 2004. Top-spraying soybean meal-based diets with phytase improves protein and mineral digestibilities but not lysine utilization in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). Aquaculture Research, 35: 955-964.

Liite 1. Laskennassa käytettyjä kaavoja ja oletuksia

Kalojen kasvu

Kalojen kasvu ennustettiin viikon jaksoissa ns. kuutiojuurimallin avulla:

$$\text{loppupaino, g} = (\text{alkupaino, g}^{0,333} + (\text{TGC} \times \text{lämpötila} \times \text{jakson pituus päivinä}))^3$$

TGC on lajista, kannasta ja kalan koosta riippuva kerroin, usein 0,02-0,03. Sovelsimme Tossavaisen (1994) aineiston TGC-arvoja kirjolohelle.

Kalojen hapenkulutus

Kalojen hapenkulutusta ennustettiin Christiansenin ym. (1990) mallilla

$$\text{hapekulutus, mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1} = 330 \times \text{kalan paino, g}^{0,2} \times \exp(0,07 \times \text{lämpötila})$$

Kiertovesikasvatuksessa kalojen hapenkulutuksen lisäksi biosuodattimen bakteeriston (heterotrofiset bakteerit ja nitrifikaatiobakteerit) ennustettiin kuluttavan 75% kalojen kulutuksesta. Hapetuslaitteiston oletettiin voivan liuottaa 75% tuotetusta hapesta veteen.

Fosforikuormituksen laskennan lähtöarvot

Kalan koko	Rehukerroin	Rehun fosfori, g/kg	Kalan fosfori, g/kg
<100 g	0,9	13	4
100-500 g	1,0	11	4
>500 g	1,1	9	4

Tuloveden lämpötila ja happipitoisuus

