

KALA- JA RIISTARAPORTTEJA nro 403

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

Kuhan ruokakalakasvatuksen kannattavuus verkkoallaskasvatuksessa ja lämminvesiviljelyssä

Helsinki 2007

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

Kuhan ruokakalakasvatuksen kannattavuus verkkoallaskasvatuksessa ja lämminvesiviljelyssä

Elinkeino- ja yhteiskuntatutkimuksen tulosityksikkö

Uusi aalto – kalankasvatuksen monipuolistuva tuotevalikoima ja uudet teknologiset tuotantoratkaisut 382110

Kalamarkkinoiden avautuminen ja kansainvälistyminen on vaikuttanut kotimaisen kirjoloihen kilpailukykyyn ja kasvatuksen taloudelliseen tulokseen. Suomalaiset kasvattajat ovat pyrkineet parantamaan kilpailukykyään monipuolistamalla tuotantoaan markkinoiden arvostamilla lajeilla. Lajin tuotantobiologiset ominaisuudet vaikuttavat siihen mikä tuotantoteknologia voi olla taloudellisesti mielekkäin vaihtoehto kasvatuksessa. Kuhan kasvatusta hyötyy lämpimästä vedestä ja erilaiset lämminvesikasvatustekniikat voivat sen vuoksi olla kilpailukykyisempiä kuin perinteinen luonnonlämpötilassa tapahtuva verkkoallaskasvatusta.

Tässä tutkimuksessa on yhteistyössä kalankasvatustyöryhmien ja asiantuntijoiden kanssa laskettu neljän eri kasvatustekniikan kustannusrakenteita ja kannattavuutta biologis-taloudellisen mallin avulla. Tarkastellut vaihtoehdot olivat:

- 1) Verkkoallaskasvatusta luonnonlämpötiloissa.
- 2) Läpivirtauslaitokseen perustuva lämminvesikasvatusta.
- 3) Kiertovesilaitokseen perustuva lämminvesikasvatusta.
- 4) Yhdistelmäkasvatusta, jossa alkuvaiheessa käytetään kiertovesilaitosta ja loppuvaiheessa verkkoallaskasvatusta.

Verkkoallaskasvatusta ja kiertovesiviljelyä osoittautuivat kehittämisnäkökoiksi kasvatustekniikaksi. Kuhan kannattava ruokakalatuotanto edellyttää vielä kasvatustekniikoiden kehittämistä sekä tuotannon optimointia tuotantomäärän ja kustannusten suhteen. Lisäksi markkinahinnan tulee olla riittävä. Verkkoallaskasvatuksen etuna ovat tunnettu tuotantotekniikka ja siihen liittyvä osaaminen sekä valmiit investoinnit. Kiertovesikasvatuksessa viljely-ympäristöä on puolestaan helpompi säädellä. Kiertovesiviljely antaa myös paremman mahdollisuuden hyödyntää kuhan kasvupotentiaalia ja rakentaa tuotantoa markkinoiden tarpeita vastaavaksi.

Luonnonlämpötilassa tapahtuva verkkoallaskasvatusta hyötyisi erityisesti nopeasti kasvavasta viileään veteen sopeutuneesta kuhasta ja pääomavaltainen kiertovesikasvatusta investointituista ja laitokseen kasvattamisesta.

kuha, kalanviljely, verkkoallaskasvatusta, lämminvesiviljely, kiertovesiviljely, kannattavuus

Kala- ja riistaraportteja 403

951-776-552-5

1238-3325

27 s. + 2 liitettä

suomi

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 2
00791 Helsinki

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 2
00791 Helsinki

Puh. 0205 7511 Faksi 0205 751 201
<http://www.rkti.fi/julkaisut/> (pdf)

Puh. 0205 7511 Faksi 0205 751 201

Sisällys

1. JOHDANTO.....	1
2. AINEISTO JA MENETELMÄT.....	2
2.1 Kuhan tuotantomenetelmien taloudellisen kannattavuuden laskeminen	2
2.2 Tuotantomenetelmien kuvaus.....	4
2.2.1 Verkkokassikasvatus	4
2.2.2 Lämminvesikasvatus lämpöä kierrättävässä läpivirtauslaitoksessa.....	4
2.2.3 Lämminvesikasvatus kiertovesilaitoksessa.....	5
2.2.4. Yhdistelmäkasvatus kiertovesi- ja verkkoallaslaitoksessa.....	7
2.3 Laskennan oletukset	7
2.3.1 Tuotantobiologia ja -teknologia.....	7
2.3.2 Tuotot ja kustannukset.....	9
2.3.3 Tuotantoyksikön kasvattaminen	10
4. TULOKSET	12
4.1 Tuotantomenetelmien vertailu.....	12
4.2 Lämpötilan vaikutus	14
4.3 Kylmän veden kuhakannan käytön vaikutus.....	15
4.4 Tuotannon optimointi energiakustannusten ja myyntihinnan suhteen	16
4.5 Kiertovesi- ja verkkoallaskasvatuksen yhdistäminen	17
4.6 Tuotantomäärän vaikutus	19
4.7 Oletusten vaikutus kuhankasvatuksen kannattavuuteen.....	20
5. TULOSTEN TARKASTELU	22
5.1. Tuotantomenetelmien vertailu.....	22
5.2. Tuotannon optimointi	22
5.2.1. Tuottojen lisääminen	22
5.2.2. Tuotantokustannusten minimointi	23
5.2.3. Tuotannon kasvattaminen.....	24
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	25
KIITOKSET	26
KIRJALLISUUS	27
LIITE 1. TUOTANNON LASKENNASSA KÄYTETYT KAAVAT	29
LIITE 2. INVESTOINNIT JA MUUT KUSTANNUSERÄT	30

1. Johdanto

Kalojen kasvatusta on kehittänyt viimeisen 30 vuoden aikana pienimuotoisesta sivuelinkeinosta maailmanlaajuisesti teolliseksi elintarviketuotannoksi. Tällä hetkellä viljelyssä on noin 90 kalalajia ja vuotuinen kokonaistuotanto ylittää 25 miljoonaa tonnia. Samaan aikaan kalan kysyntä kasvaa ja luonnonkalojen tarjonta ei enää yksin riitä tyydyttämään markkinoiden kysyntää. Nykyisin pääosa lohikaloiden kaupallisesta tarjonnasta on viljeltyä kalaa.

Viljelyn nopea kasvu yhdessä kalamarkkinoiden avautumisen kanssa on tuonut mukanaan myös ongelmia. Suomen yksipuolisessa ruokakalankasvatuksessa kirjolohien kysynnän muutokset vaikuttavat voimakkaasti koko elinkeinon. Euroopan unionin jäsenyys avasi kalamarkkinamme kansainväliselle kilpailulle, mikä näkyi muun muassa norjalaisen lohen ja kirjolohien tuonnin voimakkaana kasvuna. Kotimaisen kirjolohien hinnat ja kannattavuus ovat vaihdelleet kansainvälisten lohimarkkinoiden suhdanteiden mukaan. Vuonna 2005 Suomeen tuotiin lohta ja kirjolohta noin 24 miljoonaa kiloa, mikä on kaksi kertaa enemmän kuin kotimaisen kirjolohien tuotanto.

Suomalaiset kasvattajat ovat pyrkineet parantamaan kilpailukykyään monipuolistamalla tuotantoaan markkinoiden arvostamalla lajeilla. Viimeisen kymmenen vuoden aikana riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos on panostanut siian ruokakalankasvatuksen kehittämiseen. Tutkimuksien kohteena ovat olleet siian viljelymenetelmät, kantojen tuotanto-ominaisuudet ja rehut. Tällä hetkellä kasvatettavalle siialla laaditaan valintajalostusohjelmaa, jonka avulla lajin tuotanto- ja tuotelaatuominaisuuksia voidaan kehittää tehokkaasti. Samaan aikaan kasvatetun siian vuosituotantoa on kasvanut lähes miljoonaan kiloon, mikä vastaa jo kotimaisen kalastetun siian tarjontaa. Siian lisäksi ruokakalaksi kasvatetaan nieriää ja sampea. Myös kuhan, harjuksen, taimenen ja ahvenen kasvatusta on kokeiltu.

Kuhaa on viljelty pitkään luonnonravintolammikoissa istukkaaksi, mutta lajin kasvatusta ruokakalaksi on Suomessa ja muuallakin Euroopassa vasta kokeiluasteella. Kuha on markkinoilla arvostettu laji, jonka hinta on korkea. Lajin viljelybiologia tunnetaan vielä heikosti. Muun muassa vastakuoriutuneen poikasen pieni koko, kuhan valo- ja lämpötilavaatimukset sekä kuhan aggressiivisuus vaikeuttavat lajin intensiivistä kasvatusta (Anon 1977, Hilge ja Steffens, 1996, Barry ja Malison, 2004).

Olemme aiemmin selvittäneet kuhan markkinoita ja kuhan verkkokassikasvatuksen kannattavuutta (Koskela ym. 2005). Selvityksen mukaan kasvatetulle kuhalle olisi kysyntää, mutta kannattava kasvatusta edellyttää pitkäaikaista tuotekehitystyötä. Kuha kasvaa parhaiten yli 20 asteen lämpötiloissa. Suomessa ei voida luonnonlämpötiloissa hyödyntää täysin kuhan kasvupotentiaalia, minkä vuoksi kasvatuksessa tulisi tutkia kylmään veteen sopeutunutta kuhakantaa tai lämmintä vettä hyödyntäviä kasvatusteknologioita.

Tässä tutkimuksessa arvioimme kuhan ruokakalankasvatusta verkkokalankasvatuksessa, lämmintä vettä käyttävässä kiertovesilaitoksessa sekä lämpöä kiertävässä läpivirtauslaitoksessa. Lisäksi selvitämme lämminvesikasvatusta optimointimahdollisuuksia erityisesti veden lämpötilan, tuotannon ja myynnin ajoittamisen, kylmän veden kuhakannan ja tuotantomäärän suhteen. Herkkyysanalyysien avulla selvitetään eri tuotantotekijöiden merkitystä viljelyn taloudelliselle tulokselle.

2. Aineisto ja menetelmät

2.1 Kuhan tuotantomenetelmien taloudellisen kannattavuuden laskeminen

Kuhan kasvatuksen tuotantokustannukset ja kannattavuus arvioitiin neljälle tuotantomenetelmälle:

- 1) Luonnonlämpötilassa tapahtuvalle verkkoallaskasvatukselle
- 2) Lämmitettyä vettä käyttävälle läpivirtauslaitokselle, joka perustuu lämmön kierrättämiseen
- 3) Lämmitettyä vettä käyttävälle kiertovesilaitokselle, joka perustuu veden kierrättämiseen
- 4) Yhdistelmäkasvatukselle, jossa poikaset kasvatetaan kiertovedessä ja ruokakalat verkkokasseissa

Tuotantomenetelmien välisen vertailun lisäksi arvioimme missä määrin tuotannon taloudellista kannattavuutta voidaan optimoida kasvatusprosessia muuttamalla. Selvitämme tuotantoerien jaksottamisen (1, 2 tai 6 tuotantoerää vuodessa) ja myynnin ta-soittamisen vaikutusta lämminvesikasvatusmenetelmien kannattavuuteen. Laskemme myös millä tavalla kasvatuslämpötilat (16, 18 tai 20 astetta) tai kylmään veteen sopeutuneet kuhakannat vaikuttavat kiertovesikasvatuksen ja läpivirtausjärjestelmän tuotantokustannuksiin ja kannattavuuteen. Tuloksissa osoitetaan myös tuotannon optimoimisen vaikutus kannattavuuteen markkinahinnan sekä tuotantokustannusten kautta. Herkkyysanalyysillä arvioidaan edelleen muiden tärkeiden kustannus- ja tuottotekijöiden vaikutusta taloudelliseen tulokseen. Esimerkiksi tuotantoyksikön koon vaikutus kannattavuuteen lasketaan. Lisäksi lasketaan tärkeimpien muuttujien kriittiset arvot, joilla päästään nollatulokseen. Laskelmat tehtiin kullekin tuotantomenetelmälle erikseen rakennetuilla biologis-taloudellisilla laskentamalleilla.

Kannattavuus mitataan nettotuloksena (tuotot-normaaliomakustannusarvo). Jokaisesta menetelmästä lasketaan kustannusrakenne ja normaaliomakustannusarvo. Normaaliomakustannusarvo on minimihinta, joka kattaa kaikki liiketoiminnan kulut. Tuotot muodostuvat kuhan markkinahinnasta ja investointituista.

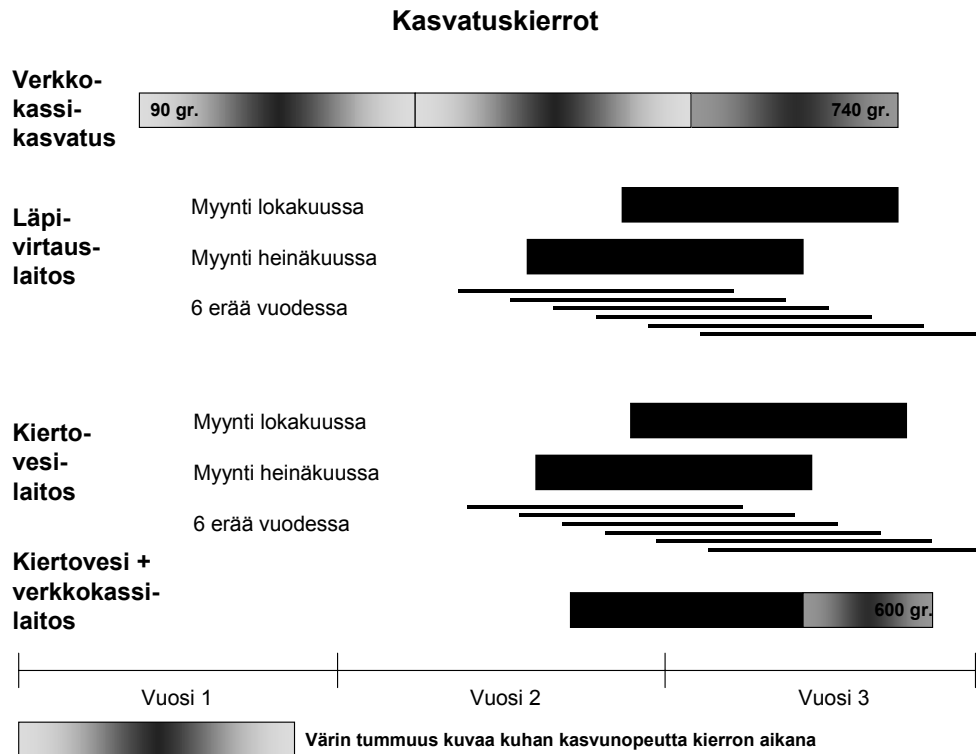


Kuva 1. Tarkasteltavat kasvatusvaihtoehdot ja bio-ekonomisen laskentamallin lähestymistapa.

Kustannukset ja tuotot lasketaan kalakiloa kohti, jotta menetelmien väliset kustannuserot ovat selkeämmin havaittavissa. Kaikissa vaihtoehdoissa tuotetaan noin 100 tonnia kuhaa vuodessa, jotta kustannusrakenteet ovat vertailukelpoisia. Kustannukset ja tuotot on laskettu arvonlisäverottomina.

Tarkasteltavat tuotantokierrot on tiivistetty kuvaan 2. Kassikasvatuksen tuotantokierron pituus on lähes kolminkertainen lämminvesikasvatukseen verrattuna, koska kala kasvaa nopeasti vain loppukesästä, kun vesi on lämmintä. Muut tuotantokierrot kestävät vuoden. Luonnonkierto alkaa kasvukauden alussa keväällä. Muut kasvatuskierrot eivät ole riippuvaisia luonnonkierrosta ja näin ollen kasvatuskiertoja on mahdollista optimoida kustannusten tai markkinoiden kannalta edulliseen aikaan. Koska optimikasvatuskierrosta ei ole varmaa tutkittua tietoa, tarkasteltavaksi kasvatuskierroksi valittiin ensin 1 tuotantoerän kasvatuksessa joulukuu-tammikuu ja 2 erän kierrossa joulukuu-tammikuu sekä kesäkuu-heinäkuu. Tämän lisäksi yhden tuotantoerän kasvatuskierrossa vertaillaan, onko kannattavampaa optimoida tuotanto energiakustannusten suhteen, jolloin tuotantokierto on marraskuusta lokakuuhun tai myyntihinnan suhteen jolloin kasvatuskierto on elokuusta heinäkuuhun.

Tuotantoon otettavan poikasen koko on 90 grammaa kaikissa muissa tuotantomenetelmissä paitsi yhdistelmäkasvatuksessa, jossa kiertoovesilaitokseen otetaan 10 gramman kala. Kala myydään kassikasvatuksessa 740 grammaisena. Muissa kierroissa myytävän kalan koko vaihtelee kasvatuslämpötilan mukaan 600 grammasta 1 500 grammaan.



Kuva 2. Kasvatuskierrot eri tuotantomenetelmillä. Kasvatuskierron alkuun on merkitty poikasen koko ja loppuun myytävän kuhan koko. Kalan loppupaino vaihtelee 600-1500g:n välillä riippuen valitusta kasvatuslämpötilasta.

2.2 Tuotantomenetelmien kuvaus

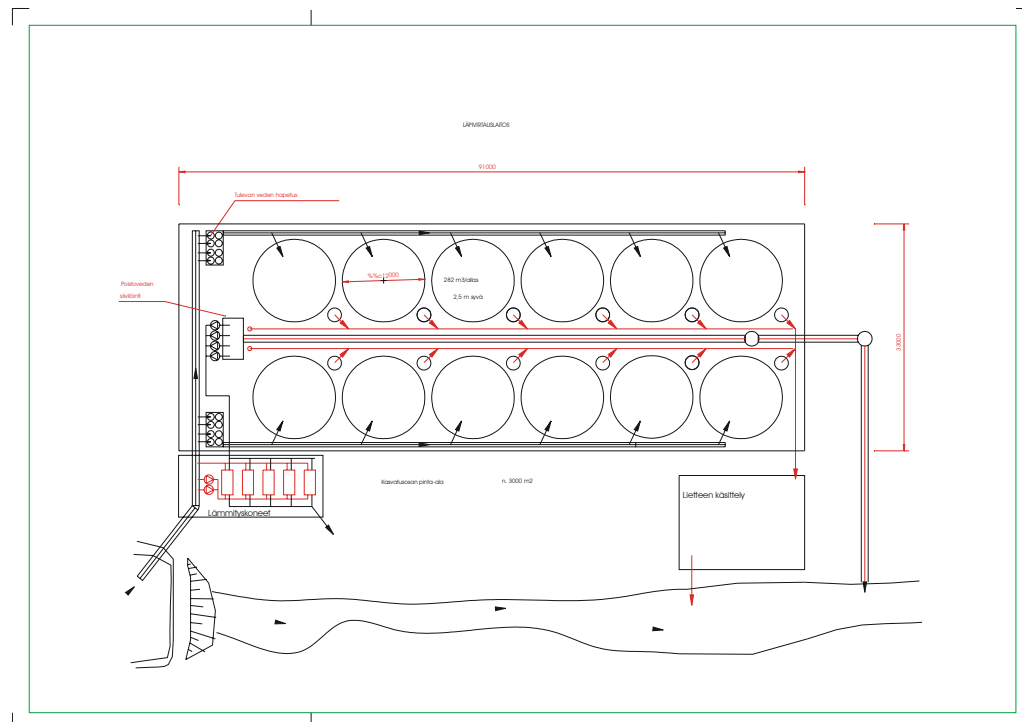
2.2.1 Verkkokassikasvatus

Verkkoaltaissa kalat kasvatetaan luonnon lämpötilassa. Kannattavuus lasketaan kolmen vuoden pituiselle tuotantokierrolle siten, että vuodessa myydään 100 tonnia vrestettyä kuhaa. Kala otetaan kasvatukseen 90 grammaisena ja keskipaino on kolmen kasvukauden jälkeen noin 740 grammaa. Ensimmäisen kesän kasvukauden jälkeen kalat siirretään poikasverkkokasseista suurempiin kasvatuskasseihin. Investoinnit ja tuotantokapasiteetti on suunniteltu siten, että laitoksen kokonaiskalabiomassa nousee suurimmillaan 200 tonniin, kun laitoksella on samanaikaisesti kolmen vuosiluokan kaloja. Tuotantoon otettavien kuhanpoikasten lukumäärä (noin 186 000 kpl) sovitetaan las kennassa siten, että vuosittainen myyntimäärä on kuolleisuus huomioiden 100 tonnia. Verkkokassilaitoksen investoinnit esitetään liitteessä 2a.

2.2.2 Lämminvesikasvatus lämpöä kierrättävässä läpivirtauslaitoksessa

Lämmintä vettä käyttävässä läpivirtauslaitoksessa on paljon veden käsittelyyn liittyvää tekniikkaa (Kuva 3). Laitostyypissä kierrätetään lämpöä, mutta käyttövesi virtaa laitoksen läpi. Laitokselle tuleva vesi lämmitetään pääasiassa laitoksesta poistuvan veden

lämmön avulla. Poistoveden lämpö siirretään tuloveteen passiivisesti lämmönvaihtimien ja aktiivisesti lämpöpumpun avulla. Jotta useiden lämmönvaihtimien läpi saataisiin johdettua koko laitoksen vesimäärä, vesi on paineistettava pumppujen avulla. Lisäksi altaiden poistovesi on puhdistettava rumpusiivilällä ennen veden johtamista lämmönvaihtimeen. Lämmitettävän veden määrä riippuu ensisijaisesti kalojen hapentarpeesta. Tuloveden määrän ja tämän myötä veden lämmitystarpeen vähentämiseksi tuloveteen lisätään ylikylläistä happea. Happi tuotetaan happigeneraattorin avulla ja liuotetaan veteen hapetuskolonnissa. Kasvatusaltaissa vettä tuuletetaan ja sen kiertoa tehostetaan ilmastimien avulla.



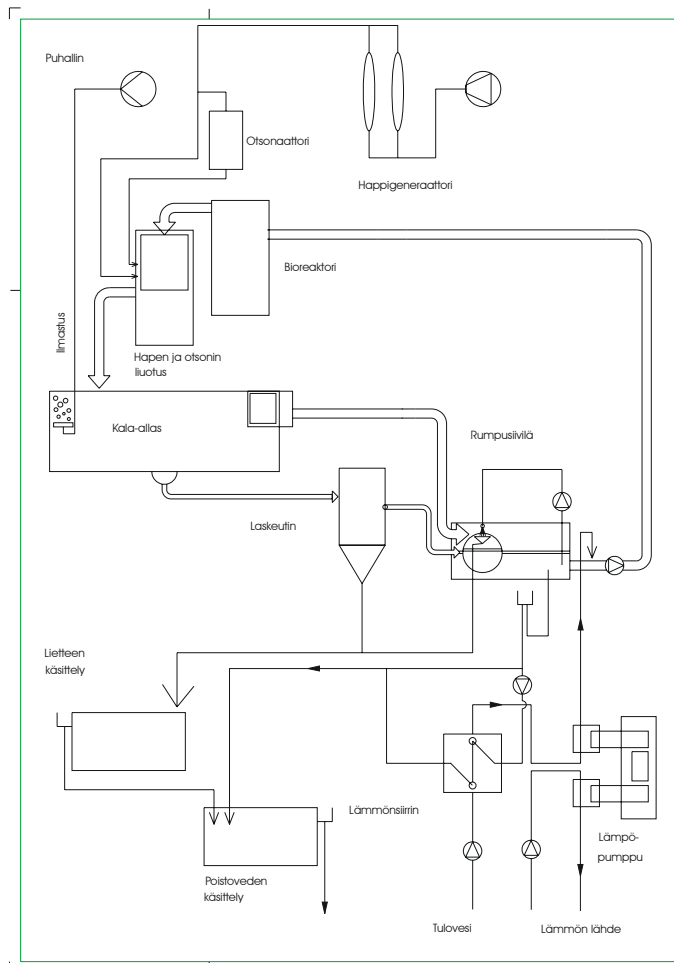
Kuva 3. Lämpivirtauslaitoksen rakenne.

Laskelmissa laitoksen tekninen rakenne mitoitettiin kolmen tuotantovaihtoehdon mukaan. Yhden erän tuotannossa tuotettiin yksi 100 tonnin tuotantoerä vuodessa, jolloin myös laitoksen maksimibiomassa on 100 tonnia, Kahden erän vaihtoehdossa 100 tonnin vuosituotanto tuotetaan kahdessa samansuuruisessa erässä, jolloin laitoksen maksimibiomassa on 67 tonnia. Kuuden erän vaihtoehdossa 100 tonnin vuosituotanto tuotetaan kuudessa samansuuruisessa erässä, jolloin laitoksen maksimibiomassa on 50 tonnia. Lisäksi rakenne mitoitettiin 200 ja 400 tonnia vuodessa tuottaville laitoksille, jotta voitiin laskea tuotantomäärän vaikutukset kannattavuuteen. Kaikissa vaihtoehdoissa kalojen kasvatusta sisäin otettavasta poikasesta myyntikokoon kestää 12 kuukautta, eli kuhat kasvavat myyntikokoisiksi lämpimässä vedessä huomattavasti nopeammin kuin luonnonlämpötilassa. Poikasten määrä (76 000 kpl) valittiin siten, että vuotuinen kokonaistuotantomäärä on kuolleisuus huomioiden 100 tonnia. Lämpivirtauslaitoksen investoinnit on esitetty liitteessä 2b.

2.2.3 Lämminvesikasvatusta kiertovesilaitoksessa

Kiertovesilaitoksessa kierrätetään lämmintä vettä ja vain pieni osa vedestä virtaa laitoksen läpi (Kuva 4). Laitoksesta poistuva vesi korvataan uudella lämmitetyllä vedellä

ja sen määrä on laskelmissamme 40 % laitoksen vesitilavuudesta vuorokaudessa. Koska laitoksen vesi käytetään moneen kertaan, vettä on käsiteltävä läpivirtauslaitosta enemmän, mutta vastaavasti veden lämmitykseen ja lämmön talteenottoon kuluu vähemmän energiaa.



Kuva 4. Kiertovesilaitoksen rakenteen periaatekaavio. Laskelmissa on käytetty 12 altaan laitosta, jossa tuotanto on jaettu kolmeen kuvaa vastaavaan osaan. Koko laitokselle yhteisenä osana on lämmitys, hapen- ja otsonintuot- ja veden puhdistusjärjestelmät.

Uudelleen käyttöön otettavasta vedestä poistetaan ensin kiintoainesta siivilöinnin ja laskeutuksen avulla. Kiintoaineesta puhdistunut vesi sisältää edelleen kalojen kannalta haitallisia määriä ammoniakkia ja hiilidioksidia. Näiden aineenvaihduntatuotteiden vähentämiseksi vesi johdetaan bioreaktoriin, jossa bakteerit hajottavat ammoniakin vähemmän haitalliseksi nitraattitypeksi ($\text{NO}_3\text{-N}$). Vesi valutetaan ilmastustornissa hiilidioksidin vähentämiseksi. Kiertävässä vedessä voi mikrobien määrä nousta liian suureksi. Bakteerien, levien ja virusten vähentämiseksi veteen lisätään otsonia, joka tuotetaan generaattorin avulla. Kalojen ja bakteerien kuluttaman hapen tilalle laitoksessa kiertävään veteen lisätään hapetuskolonnissa uutta happea ennen kuin se johdetaan takaisin kasvatusaltaisiin. Se tuotetaan happigeneraattorin avulla. Altaissa vettä tuuletetaan ja sen kiertoa tehostetaan ilmastimien avulla.

Laskelmissa laitoksen tekninen rakenne mitoitettiin kolmelle tuotantomäärälle (100-, 200-, ja 400 tonnia) samoin, kuin lämpöä kierrättävässä kasvatuslaitoksessa. Kiertovesilaitoksen investoinnit on esitetty liitteessä 2c

2.2.4. Yhdistelmäkasvatusta kiertovesi- ja verkkoallaslaitoksessa

Yhdistelmäkasvatuksessa kuhan poikasia kasvatetaan alkuvaiheessa kiertovesilaitoksessa ja tämän jälkeen yhden kasvukauden ajan verkkoallaslaitoksessa. Kiertovesikasvatukseen otetaan syyskuun alussa noin 10 gramman painoisia poikasia (181 000 kpl) ja niitä kasvatetaan 9 kuukauden ajan 20 asteen lämpötilassa. Poikaset voivat olla luonnonravintolammikosta pyydettyjä ja syömään opetettuja kaloja. Kesäkuun alussa noin 350 gramman painoiset kalat (167 000 kpl) siirretään verkkoallaskasvatukseen ja syksyllä kalat saavuttavat 600 gramman markkinakoon, jonka jälkeen kaloja myydään tasaisesti vuoden ympäri, vajaa 2 000 kiloa viikossa.

Laskelmissa kiertovesilaitoksen tekninen rakenne mitoitettiin siten, että se tuottaa 9 kuukauden pituisen tuotantokauden jälkeen 350 gramman poikaset verkkoallaskasvatukseen, joka tuottaa edelleen 100 tonnin tuotantomäärän kasvukauden aikana. Yhdistelmäkasvatuksen investoinnit on esitetty liitteessä 2d.

2.3 Laskennan oletukset

2.3.1 Tuotantobiologia ja -teknologia

Laskelmissa oletettiin, että eri painoisia intensiiviseen kasvatukseen soveltuvia kuhan poikasia olisi saatavilla ympäri vuoden. Tasan yhden vuoden pituisella tuotantokierrolla päästään 16-20°C kasvatuslämpötiloilla 90 gramman poikasella 600-1500 gramman loppupainoon. Kuhan kasvu laskettiin kuhan kasvumallin avulla (Koskela ym. 2005). Malli ottaa huomioon kalan painon ja veden lämpötilan vaikutuksen kalan kasvuun. Laskennassa käytetyt kaavat on esitetty liitteessä 1.

Laskelmissa oletettiin kylmän veden kuhakannan kasvun siirtyneen 1 tai 2 astetta keskisuomalaisista kantaan viileämpään. Ajatus paremmin kylmään veteen sopeutuneesta kuhasta perustuu muilla lajeilla tehtyihin havaintoihin saman lajin pohjoisten ja eteläisten kantojen kasvuerosta. Luonnonvalinta on suosinut pohjoisemmilla alueilla yksilöitä, jotka ovat pystyneet kasvamaan ensimmäisen kasvukauden aikana eteläistä kantaan viileämmässä vedessä ja lyhyemmässä ajassa riittävän suureen talvehtimiskokoon (Conover 1990). Tällainen valintapaine on voinut johtaa eroihin lämpötilaominaisuuksissa esimerkiksi pohjoisen Kemijärven ja keskisuomalaisen kuhakannan välillä.

Laskelmissa oletettiin, että 10 % kaloista kuolee tasaisesti (0,2 %/viikko) vuoden pituisen tuotantokierron aikana. Eurooppalaisen kuhan tiheydensiedosta ei ole tietoa, mutta ahven ja valkosilmäkuha sietävät melko korkeita tiheyksiä (Melard ja Kestemont 1994, Summerfeld ja Summerfeld 1996). Tämä perusteella allaskohtaisena maksimitiheytenä käytettiin 50 kg/m³. Vastaava tiheys verkkokasseissa oli 20 kg/m³. Tuotannon simuloinneissa kaloja harvennetaan tarpeen mukaan useampaan altaaseen tai verkkokassiin (yhden vuotuisen kalaerän tuotanto) tai siirretään pienemmästä altaasta suurempaan altaaseen (useamman vuotuisen kalaerän tuotanto), jottei maksimitiheys ylity.

Tuloveden mukana kalat saavat tarvitsemansa hapen, ja poistoveden myötä altaasta poistuu veteen liuenneet aineenvaihduntatuotteet, ulosteet ja syömätön rehu. Kalojen hapentarve on tärkein tuloveden määrään vaikuttava tekijä. Veden virtausta ja samalla lämmitystarvetta voidaan vähentää lisäämällä tuloveteen puhdasta happea. Tulovettä tulee kuitenkin virrata ainakin niin paljon, että allashydrauliikka toimii ja veteen ei kerry liikaa aineenvaihduntatuotteita ja kiintoainesta. Kiertovesilaitoksessa kalojen lisäksi happea kuluttavat nitrifikaatiobakteerit ja heterotrofiset bakteerit. Näiden hapenkulutus liittyy läheisesti kalojen tuottaman ammoniakkin ja veden kiintoaineen mää-

rään. Oletimme bakteeriston kuluttavan happea 75 % kalojen hapenkulutuksesta (Timmons ym. 2002).

Kuhan hapenkulutusarvoina käytettiin valkosilmäkuhalle (*Sander vitreum* M.) julkaistuja arvoja (Cai ja Summerfeld 1992), koska eurooppalaisen kuhan hapenkulutuksesta on julkaistu niukasti tietoa.

Tuloveden (läpivirtauslaitos) ja kiertävän veden (kiertovesilaitos) virtaama laskettiin kalojen (läpivirtauslaitos) ja kalojen sekä bakteeriston (kiertovesilaitos) hapenkulutuksen avulla. Läpivirtauslaitoksessa tuloveden oletettiin olevan kasvatuslämpötilaan lämmityksen jälkeen 100 %:sti happikyllästeistä. Ennen altaisiin johtamista veden happipitoisuus nostettiin puhtaan hapen lisäyksen avulla 20 mg:aan litraa kohden veden kierrätys- ja lämmitystarpeen vähentämiseksi. Kiertovesilaitoksessa uudelleen käytettävän veden happipitoisuuden oletettiin olevan 2 mg/l. Ennen altaisiin johtamista veden happipitoisuus nostettiin vastaavasti 20 mg:aan litraa kohden. Kala-altaan poistoveden happipitoisuudeksi asetettiin 6 mg/l (läpivirtauslaitos) tai 9,5 mg/l (kiertovesilaitos). Kiertovesilaitoksessa altaista poistuvan veden happipitoisuus tulee olla läpivirtauslaitosta korkeampi, koska hapen täytyy riittää bioreaktorin mikrobien aineenvaihduntaan. Bioreaktoriin tulevan veden happipitoisuus on siis 9,5 mg/l ja siitä poistuvan veden happipitoisuus 2 mg/l.

Kiertovesilaitoksessa osa kiertävästä vedestä tulee vaihtaa säännöllisesti, jotta veteen ei kerry liikaa kaloille haitallisia tyyppiyhdisteitä sekä kiintoainetta. Laskelmissa korvausveden määrä oli 40 % laitoksen vesitilavuudesta vuorokaudessa (Timmons ym. 2001). Myös laitoksessa kiertävän veden tulee kulkea riittävän usein bioreaktorin läpi, jotta ammoniakitypen taso pysyy turvallisena. Laskelmissa korvausveden määrän ja veden kiertonopeuden riittävyys tarkistettiin Losordon ja Hobbsi'n (2000) esittämällä tavalla.

Tuloveteen lisättävän kokonaishapen määrä laskettiin kasvatusveden virtaaman ja tuloveteen lisätyn happimäärän avulla. Laskelmissa oletettiin, että lisätystä hapesta saatiin liuotettua 75 % veteen kalojen käyttöön kun veden happipitoisuus nostettiin 20 mg:aan litraa kohden (200 % happikyllästeisyys). Koko tuotantokierron hapenkulutus ja veden virtaama laskettiin laskemalla viikoittaiset kokonaiskulutukset yhteen.

Kalojen rehunkulutus laskettiin kalojen lisäkasvun avulla. Kasvatuksessa alle 500 gramman kalojen rehukerroin oli 1 ja tätä suurempien kalojen 1,1.

Kiertovesilaitoksessa veteen kertyvien mikrobien määrää vähennetään bioreaktorin jälkeen veteen lisättävän otsonin avulla. Mikrobien määrä kasvaa kalabiomassan ja ruokinnan määrän noustessa. Laskelmissa mitoitimme otsoniannostuksen vuorokaudessa käytetyn rehun määrään (Timmons ym. 2002).

Läpivirtaus- ja kiertovesilaitoksessa vettä tuuletetaan, allasvirtausta parannetaan sekä varmistetaan kalojen hapensaanti allaskohtaisen ilmastuksen avulla.

Sähköenergiaa käytetään pääasiassa veden pumppaukseen, lämmittämiseen, ilmastamiseen sekä puhtaan hapen ja otsonin tuottamiseen. Kalojen hapentarve, veden lämpötila ja lämpöhävikit vaikuttavat energian kulutukseen. Vettä pumpataan altaisiin, ilmastetaan ja hapetetaan happigeneraattorilla riittävän hapensaannin turvaamiseksi. Lämmön talteenoton vuoksi vettä pumpataan lämmönvaihtimien lävitse tai kierrätetään sekä lämmitetään lämpöpumpun avulla.

Pumppausenergian tarve on laskettu tarvittavan painekorkeuden ja virtaaman avulla. Lisäksi oletettiin, että pumpun hyötysuhde on 70 %. Lämmönvaihtimien tarvitsemana painekorkeutena käytettiin viittä metriä vaihdinta kohden ja hapetustornin painekorkeutena kolmea metriä. Kiertovesilaitoksessa bioreaktorin ja ilmastus/hapetus/otsonointitornin painekorkeutena käytettiin viittä metriä.

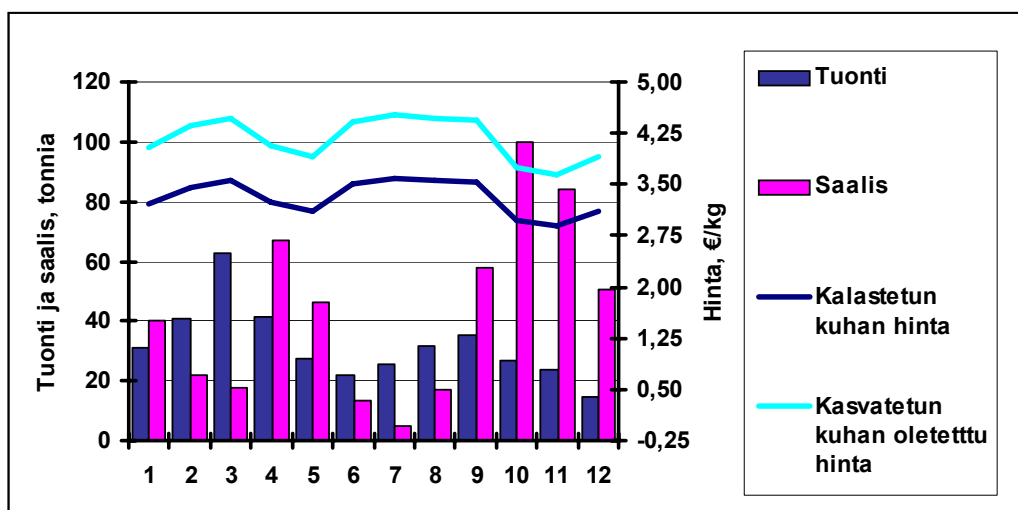
Happigeneraattorilla tuotetun hapen energiakulutusarvona käytettiin 1,34 kWh/kg happea. Kaikkien altaiden ilmastuksen kuluneena vuotuisena kokonaisenergiämääränä käytettiin 120 MWh.

Läpivirtauslaitoksessa lämmitysenergian tarve laskettiin kasvatusveden virtaaman sekä tulo- ja kasvatusveden lämpötilojen avulla. Kiertovesilaitoksessa lämmitysenergia laskettiin korvausveden virtaaman sekä korvaus- ja kasvatusveden lämpötilojen avulla.

Molemmissa laitostyypeissä veden lämmitystarve väheni lämmönvaihtimien ja lämpöpumpun käytön ansiosta. Laskelmissa oletettiin, että 85 % poistoveden lämmöstä voitiin siirtää lämmönvaihtimen avulla tuloveden lämmittämiseen. Poistoveden muu lämpö otettiin talteen lämpöpumpun avulla ja sen hyötytehoksi oletettiin 4, eli yhdellä kWh:lla voitiin tuottaa 4 kWh lämpöä. Koko tuotantovuoden energian kulutus saatiin yhdistämällä viikoittain lasketut energiakulutusarvot.

2.3.2 Tuotot ja kustannukset

Kuhasta saatava hinta vaikuttaa olennaisesti tuottoihin. Tuotannon jaksottamisella voidaan vaikuttaa tuottoihin, koska markkinahinta riippuu myyntiajankohdasta. Myyntihinta on korkea silloin kun markkinoilla on vähän tuotteita. Kotimaisen kalastetun kuhan tarjonta vaihtelee kuukausittain (Kuva 5). Hinta on korkea kesällä ja alkuvuodesta, jolloin sitä ei ole runsaasti saatavilla. Hinta laskee keväällä ja syksyllä, kun tarjonta kasvaa. Myös tuotu kuha vaikuttaa kotimaisen kuhan hintatasoon.



Kuva 5. Kuhan keskiarvoiset hinnat sekä tuonti ja saalis kuukausittain (1998-2003)

Kasvatetun kuhan hinta oletettiin neljänneksen kalastetun kuhan hintaa korkeammaksi. Hinta oletettiin korkeammaksi, koska kasvattaja voi kalastajaa paremmin sopia ostajan kanssa toimitusmääristä ja -ajankohdista sekä myyntihinnasta. Kalastajan on puolestaan yleensä myytävä saalis markkinahintaan välittömästi pyynnin jälkeen.

Kasvatetun siian hinta on tähän asti ollut selvästi (vähintään 50 %) korkeampi kuin kalastetun. Kuhan hintaero ei nousse yhtä suureksi, koska virolainen kuha täydentää jo kotimaisen kuhan tarjontaa.

Kiertovesiviljelyssä ja läpivirtauslaitoksessa kuuden erän ympärivuotisen myynnin vaihtoehdoissa myyntihintana käytettiin vuoden keskihintaa, 4,15 euroa kilolta, koska tuottaja pystyy tällä strategialla varmistamaan tuotteelleen ympärivuotisen tarjonnan.

Kun tuotteen saatavuus on varmasti ympärivuotista, jalostajat voivat maksaa kuhasta kausittaista tuotantoa korkeamman hinnan. Kun laskettiin kahden erän tuotantokiertoa, käytettiin joulukuun ja heinäkuun keskihintaa 4,15 €/kg. Yhden tuotantoerän tarkastelussa joulukuun hintana käytettiin 3,85 €/kg.

Kasvattaja voi myös optimoida tuotantonsa siten, että hän ajoittaa myyntiinsä aikaan, jolloin markkinahinta on korkeimmillaan. Heinäkuussa hinnan oletetaan nousevan 4,50 euroon. Lokakuun myyntihintana käytettiin 3,75 euroon.

Investointituet on laskettu liiketoiminnan muiksi tuotoiksi. Investointituet ovat alueelliseen liiketoiminnan kehittämiseen myönnettäviä tukia, joiden merkitys laitosisvestoinneissa saattaa olla merkittävä. Investointituet vaihtelevat huomattavasti laitoksen sijainnin ja investointikohteen perusteella. Tässä tutkimuksessa investointituen osuutena käytettiin 30 % kokonaisinvestointikustannuksista. Investointituen määrä huomioidaan vuosittaisena tuottona, jotta se ei vaikuttaisi kustannuslaskelmiin. Investointituen määrän merkitystä arvioidaan tutkimuksen herkkyyksianalyysissä.

Tärkeimpiä kalankasvatuksen muuttuvia kustannuksia ovat rehu-, poikas-, perkaus-, pakkaus-, huolto- ja kuljetuskustannukset. Muuttuvat kustannukset vaihtelevat tuotantomenetelmittäin. Esimerkiksi energiakustannukset lisääntyvät huomattavasti kun luonnonlämpötilasta siirrytään lämminvesikasvatukseen. Kiertovesi- ja läpivirtauslaitoksessa energiakustannukset muuttuvat myös tuotantoprosessin perusteella. Myös huoltotyöt lisääntyvät kun laitteistoja on enemmän. Laskennassa käytettyjen kustannustekijöiden arvot on lueteltu liitteessä 2 g.

Investointikustannuksiin lasketaan hankintojen lisäksi niihin liittyvät kustannuserät, kuten asennuskustannukset. Investointikustannukset on jaettu vuosikohtaiseksi kustannukseksi investointikohteen poistoajan perusteella. Investoinnit ja poistoajat on lueteltu liitteessä 2 a-f.

Muita kiinteitä kustannuseriä ovat hallintokustannukset ja vakinaisen henkilöstön palkat. Tuotantolaitteiston lisääntyessä eräät kiinteät kulut kuitenkin kasvavat, kun esimerkiksi henkilöstön määrää joudutaan lisäämään. Laskennassa käytetyt henkilöstön määrät on esitetty menetelmäkohtaisesti liitteessä 2 g.

Pääomakustannukset ovat rahoituskustannuksia, jotka aiheutuvat pitkäaikaisten investointien pääoman korkokustannuksista ja lyhytaikaisen pääoman vaihtoehdoisen sijoituskohteen tuottovaatimuksesta. Lyhytaikaisen pääomatarpeen kustannuksiin lasketaan varastoon eli kaloihin sitoutuneen pääoman kustannus. Varaston arvoa kasvattavat eniten rehut, poikaskustannukset ja työ. Mitä kauemmin kalojen annetaan kasvaa, sitä enemmän varastoon sitoutuu pääomaa. Pääomakustannus lasketaan vaihtoehdoisen sijoituskohteen 7 %:n tuottovaatimuksen perusteella. Investointikustannuksiin lasketaan sijoitetun pääoman rahoituskustannus. Investointeihin liittyvissä pitkän aikavälin pääomakustannuslaskelmissa käytetään 5 %:n korkokantaa.

2.3.3 Tuotantoyksikön kasvattaminen

Tuotantoyksikön kasvun vaikutusta kuhankasvatuksen kannattavuuteen arvioidaan verkkokassi- ja kiertovesilaitoksessa siten, että kuhan omakustannusarvot lasketaan 100, 200 ja 400 tonnin laitoksyksiköille. Näin huomioidaan kuinka suurtuotannon tuomat edut vaikuttavat eri menetelmien kannattavuuteen.

Kassikasvatuksessa on 200 tonnin laitoksessa kaksi henkilöä yrittäjän lisäksi ja investoinnit nousevat noin 29 % 100 tonnin laitokseen nähden (Liite 2).

Kiinteät investointikustannukset nousevat 400 tonnin kassikasvatuslaitoksessa noin 72 % ja yrityksessä työskentelee yrittäjän lisäksi neljä vakituista työntekijää.

Kiertovesilaitoksessa on 200 tonnin laitoksessa kolme vakituista työntekijää ja investointikustannukset nousevat laitoksen kasvaessa 54 % 100 tonnin kiertovesilaitokseen nähden (Liite 2). 400 tonnin laitokseen palkataan viisi henkilöä ja investointikustannukset kasvavat 160 %.

Lisäksi molemmissa laitoksissa palkataan perkuutyövoimaa tarpeen mukaan, osa-aikainen työ on huomioitu muuttuvissa kuluissa.

4. Tulokset

4.1 Tuotantomenetelmien vertailu

Kuhan verkkoallaskasvatuksen normaaliomakustannusarvo oli pieni. Kiertovesiviljelyn omakustannusarvo oli noin 10 % ja läpivirtauslaitosten yli kolmanneksen suurempi kuin verkkoallaskasvatuksen (Taulukko 1). Kummassakin lämminvesikasvatusmenetelmässä omakustannusarvo pieneni, kun yhden tuotantoerän kasvatuksesta siirryttiin useamman tuotantoerän kasvatukseen.

Taulukko 1. Kuhankasvatusmenetelmien kustannusrakenne, normaaliomakustannusarvo, tuotot ja kannattavuus. Vuosituotanto on 100 tonnia verestettyä kuhaa.

Tuotantomenetelmä Tuotantoprosessi	Verkkokassi	Läpivirtaus	Läpivirtaus	Läpivirtaus	Kiertovesi	Kiertovesi	Kiertovesi
	1 erä/v Luonnonlämpö	1 erä/v 20°C	2 erää/v 20°C	6 erää/v 20°C	1 erä/v 20°C	2 erää/v 20°C	6 erää/v 20°C
Muuttuvat kustannukset €/kg	3,09	4,03	4,12	3,98	2,46	2,46	2,42
Kalanpoikaskustannukset	1,47	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Rehu kustannukset	0,96	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Henkilökustannukset	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Energia kustannukset	0,01	1,99	2,14	2,03	0,47	0,50	0,48
*Lämpöenergia		1,32	1,44	1,40	0,05	0,07	0,07
*Veden pumppausenergia		0,51	0,53	0,46	0,17	0,17	0,15
*Hapetusenergia		0,05	0,05	0,05	0,12	0,13	0,13
*Ilmastusenergia		0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09
*Toimitilojen lämmitys	0,01	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Muut muuttuvat kustannukset	0,33	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
Muuttuvat pääomakustannukset	0,25	0,11	0,04	0,02	0,07	0,03	0,01
Kiinteät kustannukset €/kg	1,44	2,90	2,83	2,83	3,00	2,96	2,95
Investointikustannukset	0,38	1,39	1,33	1,32	1,46	1,42	1,42
Henkilöstökustannukset	0,71	0,98	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99
Hallintokustannukset	0,26	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Kiinteät pääomakustannukset	0,09	0,24	0,22	0,22	0,26	0,25	0,25
Normaaliomakustannusarvo €/kg	4,53	6,94	6,95	6,81	5,46	5,41	5,37
Tuotot yhteensä €/kg	3,88	4,36	4,60	4,60	4,39	4,64	4,64
Myyntituotot €/kg	3,74	3,87	4,13	4,14	3,87	4,13	4,14
Investointituet €/kg	0,14	0,49	0,46	0,46	0,52	0,50	0,50
Normaaliomakustannusarvo €/kg	4,53	6,94	6,95	6,81	5,46	5,41	5,37
Voitto/Tappio €/kg	-0,65	-2,58	-2,35	-2,20	-1,07	-0,78	-0,73

Kiertovesikasvatuksessa muuttuvat kustannukset ovat muita tuotantomuotoja pienempiä ja merkittävimmät kustannustekijät ovat rehut, poikaset ja energia. Verkkoallas-kasvatuksen muuttuvat kustannukset ovat toiseksi suurimmat ja merkittävin muuttuva kustannus on poikaskustannus. Kala kasvaa luonnonlämmössä hitaasti ja kolmivuotisesta kasvatuskierrosta huolimatta kalan myyntikoko jää pienemmäksi kuin yksivuotisessa lämminvesikasvatuksessa. Tämän vuoksi poikasia pitää ottaa kasvatukseen enemmän, jotta saavutettaisiin sama vuotuinen tuotantomäärä kuin lämminkasvatusmenetelmissä. Pitkällä kasvatusajalla myös kuolleisuus lisää poikastarvetta. Toisaalta rehukustannus on pienempi kuin muissa vaihtoehtoissa, koska lisäkasvu on pienempi sillä kalat jäävät pienempikokoisiksi ja niitä ostetaan enemmän. Pienempien kalojen rehukerros oletettiin myös paremmaksi kuin suurempien kalojen.

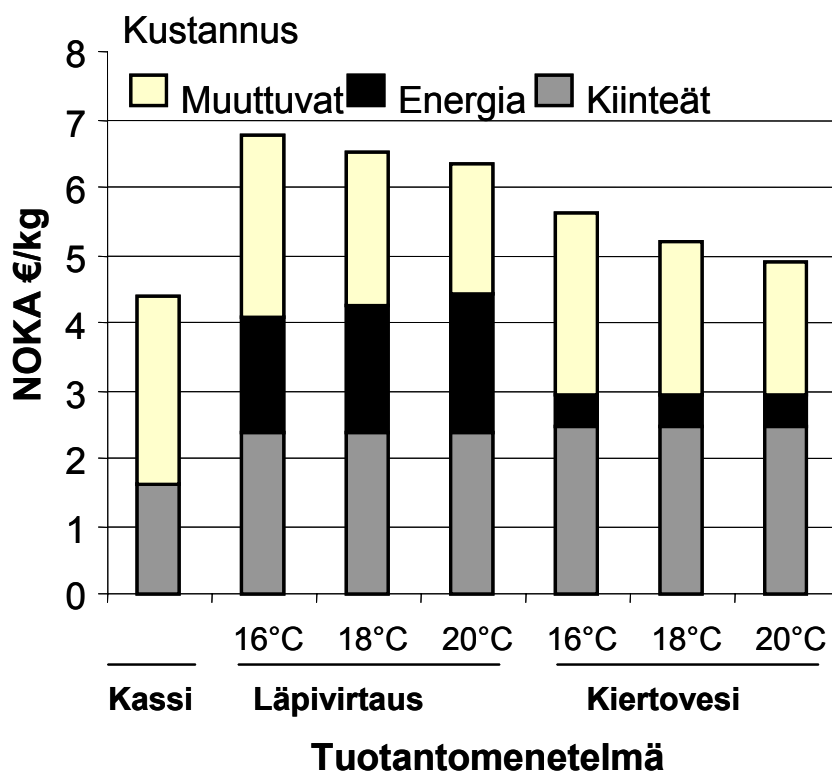
Läpivirtauslaitoksen muuttuvat kustannukset ovat muita tuotantomuotoja suuremmat. Läpivirtauslaitoksessa suuria vesimääriä joudutaan lämmittämään luonnonlämpötilasta 20 asteeseen. Myös veden pumppaaminen lämmönvaihtimiin vie huomattavasti energiaa ja energiakustannukset nousevat noin 2 €/kg. Kiertovesikasvatuksen energiakustannukset ovat pienemmät noin 0,5 €/kg, koska lämpöhävikki ja veden pumppaustarve on pienempi. Kiertovesijärjestelmässä suurin energiakulutus aiheutuukin veden pumppaamisesta uudelleen käytettäväksi.

Kiinteät kustannukset ovat sekä kiertovesikasvatuksessa että läpivirtauskasvatuksessa huomattavasti verkkokassikasvatusta suuremmat. Tuotantolaitos monimutkaisine teknisine laitteistoineen lisää investointikuluja. Lisäksi tekniikan huoltaminen ja tuotannon ylläpitäminen vaatii enemmän henkilöstöä kuin verkkokassikasvatus. Kiertovesikasvatuksen investoinnit ovat läpivirtauskasvatusta suuremmat, koska veden käsittelyyn tarvitaan enemmän laitteita.

Toiminnan tuotot olivat kuhan korkeampien myyntihintojen ja investointitukien vuoksi lämmintä vettä käyttävissä laitoksissa 10-20 % suuremmat kuin verkkoallasviljelyssä ja tämän takia kannattavuus oli kiertovesikasvatuksessa lähes sama kuin verkkoallaskasvatuksessa, vaikka verkkoallaskasvatuksen omakustannusarvo oli huomattavasti pienempi. Tuotanto oli kuitenkin kaikilla menetelmillä tappiollista. Tappio oli selvästi suurin läpivirtausviljelyssä.

4.2 Lämpötilan vaikutus

Laskimme lämminvesilaitoksille tasaisen kuuden erän tuotantoprosessien normaaliomakustannusarvot silloin kun vesi lämmitetään 16, 18 ja 20 asteeseen (Kuva 6). Vertailun vuoksi esitämme myös yhden erän luonnonlämpötilassa tapahtuvan kassikasvatuksen omakustannusarvon. Omakustannusarvoista on vähennetty investointituet.



Kuva 6. Kasvatuslämpötilan vaikutus kuhakasvatuksen normaaliomakustannusarvoon (NOKA) verkkoallaskasvatuksessa, läpivirtaus- ja kiertovesikasvatuksessa.

Viljeltävän kuhan omakustannusarvo laskee, kun kasvatuslämpötilaa nostetaan (kuva 6). Veden lämmittämisestä aiheutuvat kustannukset ovat siten pienemmät kuin kuhan kasvun nopeutumisesta saatava hyöty. Kasvun nopeutuessa ja kalan myyntikoon kasvaessa 600 grammasta (16 °C) 1500 grammaan (20 °C) samaan tuotantomäärään tarvitaan vähemmän poikasia, mikä laskee poikaskustannuksia. Lämpimimmässä kierto-vesilaitoksessa päästään lähimmäs verkkokassikasvatuksen omakustannusarvoa, joskin se jää vieläkin noin 10 % korkeammaksi. Emme laskeneet tuloksia yli 20 asteen lämpötiloissa, koska kuhan kasvusta korkeammissa lämpötiloissa ei ole riittävästi tietoja.

4.3 Kylmän veden kuhakannan käytön vaikutus

Pohjoiset kuhakantamme, kuten Kemijärven kuha, voivat olla paremmin sopeutuneita kylmään veteen kuin simuloinneissa käyttämämme Keski-Suomalainen kuhakanta. Laskimme mitä taloudellista hyötyä olisi saavutettavissa, jos kuhan kasvuoptimi olisi 1 tai 2 astetta viileämmässä, eli kuha kasvaisi 18 tai 19 asteessa yhtä hyvin kuin peruslaskelmissa käytetty kuhakanta 20 asteen lämpötilassa (Taulukko 2).

Taulukko 2. Kylmänveden kuhakantojen vaikutus kuhankasvatuksen kannattavuuteen.

Tuotantomenetelmä	Kiertovesi	Kiertovesi	Kiertovesi
Tuotantoprosessi	6 erää/v	6 erää/v	6 erää/v
Kasvatuslämpötila	18°C	18°C	18°C
Kasvuoptimin muutos	0	-1°	-2°
Muuttuvat kustannukset €/kg	2,74	2,57	2,43
Kalanpoikaskustannukset	0,98	0,78	0,61
Rehu kustannukset	0,95	0,99	1,02
Henkilökustannukset	0,00	0,00	0,00
Energia kustannukset	0,48	0,48	0,48
Muut muuttuvat kustannukset	0,31	0,31	0,31
Muuttuvat pääomakustannukset	0,02	0,02	0,01
Kiinteät kustannukset €/kg	2,95	2,95	2,95
Investointikustannukset	1,42	1,42	1,42
Henkilöstökustannukset	0,99	0,99	0,99
Hallintokustannukset	0,29	0,29	0,29
Kiinteät pääomakustannukset	0,25	0,25	0,25
Normaaliomakustannusarvo €/kg	5,69	5,51	5,38
Tuotot yhteensä €/kg	4,64	4,64	4,64
Myyntituotot €/kg	4,14	4,14	4,14
Investointituet €/kg	0,50	0,50	0,50
Normaaliomakustannusarvo €/kg	5,69	5,51	5,38
Voitto/Tappio €/kg	-1,05	-0,87	-0,74

Kylmän veden kuhien kasvun nopeutuminen hyödynnetään ostamalla vähemmän poikasia tuotantoon, koska tuotantorajoite pidetään 100 tonnissa. Kuhan kasvu paranee lähes kolmanneksen, kun optimikasvulämpötila laskee asteen. Kun optimi siirtyy kaksi astetta, kasvu on jo kaksi kolmannesta suurempi. Jälkimmäisessä vaihtoehdossa poikaskustannukset ja siten tappio vähenisivät 0,31€/kg.

Toinen vaihtoehto hyödyntää kasvun nopeutumista, olisi laskea kasvatusveden lämpötilaa, jolloin veden lämmittämisen kustannukset vähenevät. Tämän vaihtoehdon hyöty ei ole yhtä suuri, koska kiertovesikasvatuksessa lämmityskustannuksen väheneminen ei ole yhtä merkittävä kuin poikaskustannuksesta saatava säästö.

Lämmintä vettä käyttävässä läpivirtauslaitoksessa kylmän veden kuhan avulla voitaisiin pienentää energiakustannuksia. Tuotanto on kuitenkin selvästi kalliimpaa kuin kiertovesivaihtoehdossa, joten emme esitä vaihtoehdon tuloksia. Verkkooallaskasvatuksessa kylmän veden kuhan käyttö tekee kasvatuksesta kannattavaa, kun kasvuoptimi on muuttunut 2 astetta viileämpään (Koskela ym. 2005).

4.4 Tuotannon optimointi energiakustannusten ja myyntihinnan suhteen

Yhden vuotuisen tuotantoerän tuotantoa voidaan optimoida minimoimalla energiakustannusta tai maksimoimalla myyntihintaa. Energian kulutuksen kannalta edullisimmat perkuukuukaudet ajoittuvat syksyyn loka-marraskuulle. Tällöin kesän lämpimät vedet on voitu hyödyntää. Paras markkinahinta saadaan, jos kalat myydään kesällä heinä-elokuun aikana (Kuva 5). Läpivirtauslaitoksen energiakustannukset voivat laskea yli 0,4 €/kg, jos laitoksen tuotanto optimoidaan energiakustannusten suhteen (Taulukko 3). Myyntituotoilla on kuitenkin suurempi merkitys kannattavuuteen.

Taulukko 3. Myyntiajankohdan (lokakuu; energiatarpeen minimointi ja heinäkuun; markkinahinnan optimointi) vaikutus kuhankasvatuksen kannattavuuteen.

Tuotantomenetelmä Tuotantoprosessi	Läpivirtaus	Läpivirtaus	Kiertovesi	Kiertovesi
	1 erä/v	1 erä/v	1 erä/v	1 erä/v
	20°C	20°C	20°C	20°C
	Heinäkuu	Lokakuu	Heinäkuu	Lokakuu
Muuttuvat kustannukset €/kg	4,19	3,75	2,39	2,43
Kalanpoikaskustannukset	0,60	0,60	0,60	0,60
Rehu kustannukset	1,02	1,02	1,02	1,02
Energia kustannukset	2,15	1,72	0,45	0,49
Muut muuttuvat kustannukset	0,31	0,31	0,31	0,31
Muuttuvat pääomakustannukset	0,12	0,11	0,01	0,01
Kiinteät kustannukset €/kg	2,90	2,90	2,99	2,99
Investointikustannukset	1,39	1,39	1,47	1,47
Henkilöstökustannukset	0,98	0,98	0,98	0,98
Hallintokustannukset	0,29	0,29	0,29	0,29
Kiinteät pääomakustannukset	0,24	0,24	0,24	0,24
Normaalimakustannusarvo €/kg	7,10	6,65	5,37	5,41
Tuotot yhteensä €/kg	4,98	4,23	5,00	4,25
Myyntituotot €/kg	4,49	3,74	4,49	3,74
Investointituet €/kg	0,49	0,49	0,51	0,51
Normaalimakustannusarvo €/kg	7,10	6,65	5,37	5,41
Voitto/Tappio €/kg	-2,11	-2,43	-0,37	-1,17

Läpivirtauslaitoksen omakustannusarvo on silti huomattavasti kiertovesikasvatusta suurempi. Lämpötilan optimointi ei vaikuta juurikaan kiertovesiviljelyn kustannuksiin. Energiakustannukset ovat kuhaa lokakuussa myytäessä ainoastaan muutaman sentin matalammat kuin silloin, jos kuha myytäisiin markkinoiden kannalta optimaaliseen aikaan heinäkuussa. Heinäkuun myyntihinnan oletettiin olevan yli 70 senttiä korkeampi kuin lokakuussa, jolloin tarjolla on paljon kalastettua kuhaa. Markkinahinta vaikuttaa oleellisesti kasvatustarpeiden kannattavuuteen.

4.5 Kiertovesi- ja verkkoallaskasvatuksen yhdistäminen

Seuraavaksi simuloimme tuotantovaihtoehtoa, jossa samalla yrityksellä on käytettävissä kiertovesi- ja verkkoallaslaitos. Tuottaja kasvattaa kaloja syyskuusta toukokuuhun kiertovesilaitoksessa ja sen jälkeen yhden kasvukauden ajan verkkoallaslaitoksessa (Taulukko 4).

Taulukko 4. Verkkoallas-, kiertovesi- ja yhdistelmäkasvatuksen kannattavuus

Tuotantomenetelmä	Verkko- allas	Kiertovesi	Kiertovesi ja verkkoallas
Tuotantoprosessi	1 erä/v	6 erää/v	1 erä/v
Kasvatustiläpötilä	Luonnonlämpö	20°C	20°C+luonnonlämpö
Tuotantomäärä	100 tonnia	100 tonnia	100 tonnia
Muuttuvat kustannukset €/kg	3,09	2,42	5,19
Kalanpoikaskustannukset	1,47	0,60	3,97*
Rehu kustannukset	0,96	1,02	0,54
Henkilökustannukset	0,07	0,00	0,07
Energia kustannukset	0,01	0,48	0,01
Muut muuttuvat kustannukset	0,33	0,31	0,32
Muuttuvat pääomakustannukset	0,25	0,01	0,28
Kiinteät kustannukset €/kg	1,44	2,95	1,38
Investointikustannukset	0,38	1,42	0,32
Henkilöstökustannukset	0,71	0,99	0,69
Hallintokustannukset	0,26	0,29	0,29
Kiinteät pääomakustannukset	0,09	0,25	0,08
Normaaliomakustannusarvo €/kg	4,53	5,37	6,57
Tuotot yhteensä €/kg	3,88	4,64	4,54
Myyntituotot €/kg	3,74	4,14	4,14
Investointituet €/kg	0,14	0,50	0,40
Normaaliomakustannusarvo €/kg	4,53	5,37	6,57
Voitto/Tappio €/kg	-0,65	-0,73	-2,04

*Yhdistelmän kalapoikaskustannukset sisältää kiertovesikasvatuksen kustannukset

Kalat otetaan kasvatukseen 10 gramman painoisina ja siirretään verkkoallaskasvatukseen noin 350 gramman painoisina. Kalojen loppupaino on 600-1000 grammaa, koska kaloja myydään tasaisesti seuraavan vuoden ajan marraskuusta marraskuuhun

Ympärivuotisella myynnillä markkinoilta saadaan oletetusti korkeampi myyntihinta, koska jälleenmyyjille voidaan turvata tasainen saatavuus, viikoittaisen myyntimäärän ollessa noin 2000 kiloa. Verkkokassilaitoksessa tuotetaan vuodessa 100 tonnia kuhaa niin kuin aiemmissakin esimerkeissä.

Verkkoallaskasvatuksen ja kiertovesikasvatuksen yhdistäminen ei ole 100 tonnin tuotantomäärällä kannattavaa. Kuhan omakustannusarvo kasvaa huomattavasti, koska yrityksen maksettavaksi tulee sekä kiertovesi- että kassikasvatussyksikön kustannukset. Koska kiertovesi-kassikasvatuksen yksiköiden tuotantomäärät ovat pieniä (50 tonnia), kannattavuus on heikompi verrattuna vaihtoehtoihin jossa erikoistutaan yhteen tuotantotapaan. Koska kiertovesikasvatuksen kustannukset siirtyvät verkkoallasviljelyn poikaskustannuksiin ja tuotantomäärät ovat pieniä, poikaskustannukset ovat kalakiloa kohti huomattavasti muiden vaihtoehtojen oletettuja poikakustannuksia suuremmat.

4.6 Tuotantomäärän vaikutus

Laskimme eri tuotantomäärien (100 tn, 200 tn ja 400 tn) vaikutuksen kustannusrakenteeseen ja toiminnan kannattavuuteen, Kun tuotantomäärää kasvatetaan, kuhan kassikasvatuksen taloudellinen tulos paranee ja tappio on 400 tonnin tuotannolla enää 0,14 €/kg (Taulukko 5). Kiertovesikasvatus muuttuu laskennan oletuksilla kannattavaksi, kun tuotantomäärää nousee 200 tonniin.

Verkkoallaskasvatuksessa omakustannusarvo laskee tuotantomäärän kasvaessa 100 tonnista 400 tonniin 0,57 €/kg. Kiertovesikasvatuksessa omakustannusarvo laskee vastaavasti 1,26 €/kg. Kun tuotantomäärää kasvatetaan, kiinteät kustannukset voidaan jakaa suuremmalla tuotantomäärällä ja siten päästään huomattavasti edullisempaan yksikkökustannukseen.

Kiertovesikasvatuksessa omakustannusarvon lasku on suurempi, koska investointikustannukset ovat kassikasvatusta suuremmat. Kun tuotantomäärä on 400 tonnia, kierto-veden omakustannusarvo laskee verkkokassikasvatuksen omakustannusarvon alapuolelle. Kiertovesikasvatus on myös kannattavampaa, koska kuhasta oletetaan saavan parempi myyntihinta ympärivuotisen tuotannon takia.

Taulukko 5. Tuotantomäärän vaikutus kuhan kasvatuksen kustannusrakenteeseen ja toiminnan kannattavuuteen verkkoallas- ja kiertovesikasvatuksessa.

Tuotantomenetelmä	Verkkokassi	Verkkokassi	Verkkokassi	Kiertovesi	Kiertovesi	Kiertovesi
Tuotantomäärä	100 Tonnia	200 Tonnia	400 Tonnia	100 Tonnia	200 Tonnia	400 Tonnia
Tuotantoprosessi	1 erä/v	1 erä/v	1 erä/v	6 erää/v	6 erää/v	6 erää/v
Lämpötila	Luonnonlämpö	Luonnonlämpö	Luonnonlämpö	20°C	20°C	20°C
Muuttuvat kustannukset €/kg	3,09	3,06	3,06	2,42	2,41	2,40
Kalanpoikaskustannukset	1,47	1,47	1,47	0,60	0,60	0,60
Rehu kustannukset	0,96	0,96	0,96	1,02	1,02	1,02
Henkilökustannukset	0,07	0,07	0,07	0,00	0,02	0,05
Energia kustannukset	0,01	0,01	0,00	0,48	0,44	0,41
*Lämpöenergia				0,07	0,07	0,07
*Veden pumppausenergia				0,15	0,15	0,14
*Hapetusenergia				0,13	0,12	0,11
*Ilmastusenergia				0,09	0,08	0,08
*Toimitilojen lämmitys	0,01	0,01	0,00	0,04	0,02	0,01
Muut muuttuvat kustannukset	0,33	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
Muuttuvat pääomakustannukset	0,25	0,25	0,25	0,01	0,01	0,01
Kiinteät kustannukset €/kg	1,44	1,09	0,89	2,95	2,01	1,68
Investointikustannukset	0,38	0,28	0,21	1,42	0,93	0,80
Henkilöstökustannukset	0,71	0,49	0,39	0,99	0,64	0,46
Hallintokustannukset	0,26	0,26	0,26	0,29	0,29	0,29
Kiinteät pääomakustannukset	0,09	0,06	0,04	0,25	0,16	0,13
Normaaliomakustannusarvo €/kg	4,53	4,16	3,96	5,37	4,43	4,08
Tuotot yhteensä €/kg	3,88	3,84	3,81	4,64	4,47	4,42
Myyntituotot €/kg	3,74	3,74	3,74	4,14	4,14	4,14
Investointituet €/kg	0,14	0,10	0,07	0,50	0,33	0,28
Normaaliomakustannusarvo €/kg	4,53	4,16	3,96	5,37	4,43	4,08
Voitto/Tappio €/kg	-0,65	-0,32	-0,14	-0,73	0,04	0,34

4.7 Oletusten vaikutus kuhankasvatuksen kannattavuuteen

Monilla laskennan oletuksilla on suuri vaikutus kuhankasvatuksen kannattavuuteen. Seuraavassa taulukossa esitetään miten keskeisimpien tuotannontekijöiden arvojen vaihtelut vaikuttaisivat taloudelliseen tulokseen. Tuotannontekijöiden vaihtelun lisäksi esitetään tärkeimpien tuotantotekijöiden kriittiset arvot (Taulukko 6). Kriittiset arvot kertovat millä muuttujan arvolla päästään nollatulokseen.

Myyntihinnalla on suuri merkitys kasvatuksen kannattavuuteen. Mikäli kasvatetun kuhan hinta pysyy kalastetun kuhan hintatasolla (keskihinta 3,18), kasvatusta ei ole millään menetelmällä lähelläkään kannattavuuden rajaa. Jos kasvatetusta kalasta saataisiin 6 €/kg, mikä vastaisi kasvatetun siian hintaa vuonna 2004, kuhankasvatusta olisi kannattavaa kassikasvatuksessa ja kiertovesikasvatuksessa. Verkkoallas- ja kiertovesilaitoksissa kasvatusta olisi kannattavaa, jos myyntihinta olisi lähes 5 €/kg.

Energiahinta vaikuttaa huomattavasti erityisesti läpivirtauslaitoksen kannattavuuteen, mutta kuitenkin pelkästään sähkön hintaa laskemalla ei päästä kannattavaan tuotantoon.

Taulukko 6. Tuotannontekijöiden arvojen vaikutus taloudelliseen tulokseen (Kannattavuus /kg). Kiertovesi- ja läpivirtauslaitoksissa käytetty 6 vuosittaisen myyntierän viljelykiertoa ja 20 asteen lämpötilaa.

Tuotantomenetelmä	Yksikkö/arvo	Kassikasvatusta	Kiertovesikasvatusta	Läpivirtauslaitos
Kannattavuus, perusarvo, €/Kg		-0,65	-0,73	-2,20
Myyntihinta, perusarvo	3,87-4,14 €	3,87	4,14	4,14
	3,18 €	-1,21	-1,69	-3,16
	6,00 €	1,61	1,13	-0,34
Energiahinta, perusarvo	0,061-0,067€	0,061	0,061	0,067
	0,07 €	-0,65	-0,75	-2,50
	0,08 €	-0,65	-0,82	-2,83
Kuolleisuus, perusarvo	10%/v			
Muutos -50%	5%/v	-0,38	-0,70	-2,15
Muutos +100%	20%/v	-1,42	-0,81	-2,34
Kasvu, perusarvo	90gr-740gr-1400gr	90gr-740gr	90gr-1450gr	90gr-1450gr
Muutos -25%		-1,17	-0,94	-2,58
Muutos +25%		-0,36	-0,62	-2,00
Poikasen hinta, perusarvo	8,5€/kg/90gr			
Muutos -18%	6€/kg/90gr	-0,18	-0,55	-2,02
Muutos +18%	11€/kg/90gr	-1,12	-0,91	-2,38
Investointien epävarmuus, perusarvo	0			
Muutos -20%	-20 %	-0,56	-0,40	-1,89
Muutos +20%	+20%	-0,75	-1,07	-2,51
Investointituki, perusarvo	30 %			
Muutos -67 %	10 %	-0,75	-1,07	-2,51
Muutos +67%	50 %	-0,56	-0,40	-1,89

Kuolleisuuden muutos vaikuttaisi olennaisesti erityisesti kassikasvatuksen kustannuksiin. Kassikasvatuksen kannattavuutta kyetään parantamaan 0,27€/kg, mikäli vuosikuolleisuus laskee kymmenestä prosentista viiteen prosenttiin. Kuitenkaan kuolleisuuden vähentymisellä ei yksistään saada kuhantuotantoa kannattavaksi.

Kasvun nopeutuminen parantaa taloudelliseen tulosta, mutta edes kasvun paraneminen 25 % ei tee mitään kasvatustapaa kannattavaksi. Kassikasvatusta olisi kannattavaa, jos

kuha kasvaisi 80 % nopeammin. Tällöin kalan loppupaino olisi, 90 gramman alkupainolla ja kolmen vuoden kasvuajalla, noin 1,3 kiloa. Kiertovesikasvatuksessa kuhaa tulisi kasvattaa huomattavasti yli kuhan luonnollisen koon ennen kuin tuotannosta tulisi kannattavaa.

Poikasen hinnalla on myös olennainen merkitys kuhankasvatuksen kannattavuuteen. Jos 90 gramman painoisen kuhanpoikasen hinta laskisi 5 €/kg, verkkoallaskasvatuksessa päästäisiin nollatulokseen.

Kiertovesilaitoksen investointien tulisi olla noin puolet pienempi kuin laskennassa käytetyt tai investointitukien tulisi nousta oletetusta 30 %:sta 73 %:iin, jotta tuotanto muuttuisi kannattavaksi. Muut tuotantotavat eivät olisi kannattavia, vaikka tuki olisi 100 %.

5. Tulosten tarkastelu

5.1. Tuotantomenetelmien vertailu

Kuhan kasvatusta osoittautui tarkastelluilla menetelmillä ja oletuksilla kannattamattomaksi. Verkkoallaskasvatusta tuotti 100 tonnin tuotantomäärällä tappiota 65 senttiä kalakilolta. Vastaavalla tuotantomäärällä tappion suuruus vaihteli kiertovesikasvatuksessa tuotantoerien määrästä riippuen 0,7-1,0 euroa kalakilolta ja lämpöä kierrättävässä läpivirtauslaitoksessa 2,2-2,5 euroon kalakilolta. Tulosten perusteella kuhan kasvatusta voisi olla tietyin edellytyksin kannattavaa kiertovesikasvatuksessa, mutta läpivirtauslaitoksessa kasvatusta tuskin saataisiin kannattavaksi. Verkkokassikasvatuksen tuotantokustannus oli pienin.

Tuotantomenetelmien väliset erot omakustannusarvossa muodostuivat pääasiassa erilaisista energia-, poikas- ja investointikustannuksista. Läpivirtauslaitoksen energian kulutus oli yli viisi kertaa suurempi kuin kiertovesikasvatuksessa. Kiertovesiviljelyssä investointikustannukset olivat suurimmat. Verkkoallaskasvatuksessa poikaskustannukset ovat kalojen hitaasta kasvusta johtuen yli kaksi kertaa suuremmat kuin muissa kasvatusmenetelmissä.

5.2. Tuotannon optimointi

Periaatteessa tuotannon kannattavuutta voidaan parantaa lisäämällä tuottoja tai vähentämällä tuotantokustannuksia. Kannattavuus paranee myös kun tuotantomäärää kasvaa, koska kiinteät kustannukset kuten esimerkiksi investointikustannukset tuotettua kalakiloa kohden pienenevät.

5.2.1. Tuottojen lisääminen

Kuhan myyntihinta oli merkittävin kannattavuuteen vaikuttava tekijä. Kun tuotantoa optimoitiin siten, että kala myytiin korkeimman vuotuisen markkinahinnan aikana, tappio väheni oleellisesti. Jo noin kymmenen prosenttia oletettua korkeampi myyntihinta (5 €/kg) muuttaisi verkkoallas- ja kiertovesikasvatusta kannattavaksi. Laskelmissa oletettiin, että kasvattaja saisi kuhastaan vuoden ympäri 25 % korkeampaa hintaa kuin kalastaja. Kasvatetun siian tuottajahinta on ajoittain ollut jopa puolet korkeampi kuin kalastetun siian hinta. Kasvatetun ja kalastetun kuhan hintaeron arveltiin jäävän pienemmäksi, koska tuotu kuhafilee täydentää jo nyt kotimaan tarjontaa.

Uuden lajin viljelyn alkuvaiheessa myyntihinta saattaa olla oletettua korkeampi, koska kasvatetun kuhan tarjonta on silloin vähäistä. Hinnat kuitenkin yleensä laskevat, kun tarjonta ja tuottajien määrä kasvaa. 1980-luvulla kasvatetun kirjolohen hinta laski huomattavasti, kun kasvatetun punalihaisen kalan tarjonta sekä kotimaassa että ulkomailla lisääntyi. Myös kasvatetun siian tarjonta ja kasvattajien määrä on hiljalleen lisääntynyt, mutta hinta on tähän asti pysynyt kohtuullisena. Tämä johtunee siitä, että kasvatettua siikaa on tarjottu markkinoille lähinnä silloin kun kalastetun siian tarjonta on vähäistä. Kalan kasvattajien kokonaismäärä on myös 1980-luvulta vähentynyt ja jäljelle jääneet yrittäjät toimivat ammattimaisemmin pyrkien ajoittamaan tuotantoaan ja myyntiään kysyntää vastaavasti. Siiasta saadun korkeamman hinnan lisäksi tarjontaa tasaamalla ja ajoittamalla voidaan lisätä siian kysyntää, koska tuote voidaan pitää

ympäri vuoden markkinoilla ja markkinointia voidaan kehittää kun toimitusvarmuus on parantunut.

Rakenne- ja investointituilla on suuri merkitys uuden lajin viljelyä ja erityisesti kierto-vesiviljelyä kehitettäessä. Kiertovesilaitoskasvatus olisi kannattavaa, jos tutkimuksessa oletetut investoinnit olisivat puolet pienempiä tai tuen osuus olisi 75 % investoinnin arvosta.

5.2.2. Tuotantokustannusten minimointi

Laskelmat perustuvat oletukseen, jossa kuhan kasvatusmenetelmistä on jo olemassa perustietämystä ja osaamista. Esimerkiksi kuolleisuuden oletettiin olevan 10 % tuotantoon otettujen kalojen määrästä, kun se vielä tällä hetkellä on huomattavasti suurempi. Kuhan kasvatuksesta on vielä vähän käytännön kokemuksia. Hintojen lisäksi myös tuotantokustannukset laskevat viljelytekniikoiden ja osaamisen kehittyessä.

Tuotantokustannukset laskevat kuhan kasvua parantamalla. Kasvua voidaan parantaa kasvatuslämpötilaa nostamalla tai käyttämällä tuotannossa kylmän veden kuhakantaa. Lämpötilan noustessa kalojen kasvu nopeutuu ja samaan tuotantomäärään tarvitaan vähemmän poikasia. Kolmanneksen pienempi poikaskustannus tekisi verkkokasvatuksen kannattavaksi. Myös poikasten hinta saattaa laskea, kun poikaskasvattajat oppivat tuotantotekniikan ja tuotanto tehostuu. Kuhan 90 gramman poikasen oletettiin maksavan 8,5 €/kg. Hinta on kaksi kertaa suurempi kuin vastaavan kokoisen kirjoloihen poikasen hinta.

Kasvatuslämpötilan nosto tehosti kuhan kasvua ja vähensi omakustannusarvoa sekä läpivirtaus- että kierto-vesilaitoksessa. Kasvatuslämpötila nosto 18 asteesta 20 asteeseen ei riittänyt tekemään lämminvesikasvatuksesta taloudellisesti kannattavaa. Lämpötilan nostosta saatava hyöty oli kierto-vesilaitoksessa hieman suurempi kuin läpivirtauslaitoksessa. Saatava hyöty pienenee tätä korkeammassa lämpötiloissa koska lähes tyttään kuhan kasvun optimilämpötilaa.

Nopeakasvuisella kuhalla voitiin myös parantaa taloudellista tulosta. Kun kuhan kasvunopeus parani kymmenen prosenttia, kalat olivat kasvatusvuoden jälkeen noin kolmanneksen suurempia ja poikasia tarvittiin kasvatukseen vastaavasti vähemmän. Kasvatuksessa kasvunopeuden tulisi parantua noin viidenneksellä ja kierto-vesiviljelyssä noin kolmanneksella, jotta päästäisiin kannattavaan tulokseen.

Kasvun tehostaminen vaatisi usean viljelytulokseen vaikuttavan tekijän kuten kuhan geneettisen taustan sekä kasvatusmenetelmien parantamista. Erityisesti verkkoallaskasvatuksessa kasvun parantaminen esimerkiksi kuhakannan valinnalla on oleellista, koska tutkimuksen mukaan näin voidaan päästä kannattavaan tuotantoon. Aikaisemman selvityksemme mukaan 2 astetta viileämpään veteen sopeutuneen kylmän veden kuhan käyttö tekisi verkkoallaskasvatuksesta kannattavaa (Koskela ym. 2005). Kemijärven kuhan lämpötilaominaisuudet ovat lähivuosien tutkimuksien kohteena. Valintajalostuksen avulla voidaan nopeuttaa kasvatukseen valittavan kuhakannan sopeutumista viljelyolosuhteisiin ja parantaa kasvatustulosta.

Kiertovesikasvatuksen ja erityisesti läpivirtauslaitoksen lämmityskustannukset voisivat laskea huomattavasti, jos kasvatuksessa voidaan käyttää esimerkiksi teollisuuden jäähdytysvesien hukkalämpöä. Pienen vedentarpeen takia kierto-vesilaitos voidaan sijoittaa toiminnan kannalta edulliseen paikkaan kuten teollisuuslaitoksen yhteyteen. Tällöin voitaisiin hyödyntää valmista infrastruktuuria kuten poistoveden puhdistuslaitteistoja ja alentaa tuotannon kustannuksia.

Energian hintakehitys on lämminvesiviljelyn riskitekijä. Monet tekijät kuten sähköverkkojen ja yhtiöiden yhdistymiset, sademäärien vaihtelut sekä energian kysynnän kasvu aiheuttavat hintapaineita energiemarkkinoille ja näin ollen energian hinta voi

hyvinkin nousta lähitulevaisuudessa korkeammaksi kuin mitä laskelmissa on käytetty (0,067 €/kWh). Mikäli hinta nousee 8 senttiin se nostaa kiertovesikasvatuksessa kustannuksia 0,09 €/kg ja läpivirtauskasvatuksessa jo 0,63 €/kg.

5.2.3. Tuotannon kasvattaminen

Vuosituotannon kasvaessa yksikkökustannukset laskevat, koska kiinteiden kustannusten, kuten investointi- ja palkkakustannusten, osuus kokonaiskustannuksista laskee. Kalankasvatuksen tehokkuutta voidaan näin ollen parantaa tuotantokokoa kasvattamalla (Ionno ym. 2006). Tuotannon kasvattaminen laskee erityisesti kiertovesiviljelyn investointikustannuksia. 200 tonnin tuotannolla kiertovesiviljely olisi jo kannattavaa. Verkoallaskasvatuksesta runsaan 400 tonnin laitos olisi kannattava.

6. Johtopäätökset

Verkkoallas- ja kiertovesikasvatus osoittautuivat potentiaalisimmiksi kasvatusmenetelmiksi kuhan ruokakalaviljelyssä. Kannattava tuotanto edellyttää vielä kasvatustekniikoiden kehittämistä sekä tuotannon optimointia tuotantomäärän ja kustannusten suhteen. Lisäksi markkinahinnan tulee olla riittävä.

Verkkoallaskasvatuksen etuna ovat tunnettu tuotantotekniikka ja siihen liittyvä osaaminen sekä valmiit investoinnit. Ilmaston lämpenemisen myötä kuhan verkkoallaskasvatuksen edellytykset paranevat. Kiertovesiviljelyssä viljely-ympäristöä on puolestaan helpompi säädellä kuin luonnon olosuhteissa. Kiertovesiviljely antaa myös paremman mahdollisuuden hyödyntää lämpimään veteen liittyvää kuhan kasvupotentiaalia ja rakentaa tuotantoa markkinoiden tarpeita vastaavaksi. Kiertovesiviljelyn laitteistoja ja tuotantotapoja voidaan myös kokemuksen karttuessa kehittää kustannustehokkaammaksi. Kiertovesilaitos voidaan myös rakentaa teollisuuden yhteyteen, joka mahdollistaa kustannusten vähentämisen monenlaisten synergiaetujen kautta.

Luonnonlämpötilassa tapahtuva verkkoallaskasvatus hyötyisi erityisesti nopeasti kasvavasta viileään veteen sopeutuneesta kuhasta ja pääomavaltainen kiertovesikasvatus investointituista ja laitostoon kasvattamisesta.

Kiitokset

Kiitämme käsikirjoitusta kommentoineita Kaj Arvosta ja Mauno Liukkosta. Työ rahoitettiin MMM:n elinkeinokalatalouden rakenneohjelmasta osana hanketta ”Uusi aalto - Kalankasvatuksen monipuolistuva tuotevalikoima ja uudet teknologiset tuotantoratkaisut”.

Kirjallisuus

- Anon 1977. Proceedings of the 1976 Percid International Symposium (PERCIS). J. of Fish. Res. Board Can. Vol 34 no 10.
- Barry T.P. & Malison J.A. (eds) (2004) Proceedings of PERCIS III, the Third International Percid Fish Symposium, July 20-24, 2003. University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA. <http://digital.library.wisc.edu/1711.dl/EcoNatRes.Percis>.
- Cai, Y.J. & Summerfeld, R.C. 1992. Effects of temperature and size on oxygen consumption and ammonia excretion in walleye. *Aquaculture*, 104:127-138.
- Conover, D. O. 1990. The relation between capacity for growth and length of growing season: evidence for and implications of counter gradient variation. *Transactions of the American Fisheries Society*, 119: 416-430.
- Hilge V. & Steffens W. (1996) Aquaculture of fry and fingerling of pike-perch (*Stizostedion lucioperca* L.) – a short review. *Journal of Applied Ichthyology* **12**, 167-170.
- Ionno, P.N.D., Wines, G.L., Jones, P.L. & Collins, R.O. 2006. A bioeconomic evaluation of a commercial scale recirculating finfish growout system – An Australian perspective. *Aquaculture*, 259:315-327.
- Koskela, J, Setälä, J., Saarni, K. & Kankainen, M. 2005. Esiselvitys kuhan kasvatuksen mahdollisuuksista. Kala- ja riistaraportteja 348 19s.
- Losordo, T.M. & Hobbs, A.O. 2000. Using computer spreadsheets for water flow and biofilter sizing in recirculating aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering* 1-3:95-102.
- Melard, C & Kestemont, P. 1994. Diversification de la pisciculture en Region Wallonne. Rapport de recherches a la Region wallonne, ULG, FUNDP, mars 1994, Belgium.
- Summerfeld, S.T. & Summerfeld, R.C. 1996. Aquaculture of walleye as food fish. In: *Walleye culture manual* (ed. R.C. Summerfeld), pp 215-230, NCRAC, Culture Series 101. North Central Regional Aquaculture Center Publications Office, Iowa State University, Ames.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Sunnerfeld, S.T. & Vinci, B.J. 2002. Recirculating aquaculture systems. Northeastern Regional Aquaculture Center Publication No. 01-002. Cayuga aqua Ventures, 126 Sunset Drive, Ithaca, NY. 769p.

Liite 1. Tuotannon laskennassa käytetyt kaavat

Kasvu

Veden lämpötilan ja kalan koon vaikutus kuhan kasvuun on laskettu oheisen taulukon mukaisesti. Kalat myytiin verestettynä minkä arvioitiin vähentävän kalan loppupainoa 3 prosentilla.

Lämpötila °C	Kalan paino				
	40 g	80 g	160 g	300 g	600 g
10	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
12	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
14	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3
16	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
18	1,2	0,9	0,8	0,6	0,5
20	1,5	1,3	1,0	0,8	0,7

Hapenkulutus

Kalan hapenkulutus laskettiin mallin avulla joka ottaa huomioon kalan massan (W) ja veden lämpötilan (T) vaikutuksen hapenkulutukseen (H_{kulutus}).

$$\text{Hapenkulutus } H_{\text{kalat}} \text{ mg/kg/h} = 19,19 \times W^{-0,096} \cdot 0,794 \times T, R^2=0,96$$

Veden virtaama

$$\text{Kasvatusveden virtaama (Q) l/h} = (H_{\text{kalat}} + H_{\text{bakteeri}}) / (H_{\text{tulovesi20}} - H_{\text{poisto}}) \times \text{KB}$$

jossa; H_{kalat} = kalojen hapenkulutus (mg/kg/h), H_{bakteeri} = nitrifikaation- ja heterotrofisten bakteerien hapenkulutus ($0,75 \times H_{\text{kalat}}$), $H_{\text{tulovesi20}}$ = tuloveden happipitoisuus puhtaana hapen lisäyksen jälkeen (mg/l), H_{poisto} = altaasta poistuvan (läpivirtauslaitos) tai biofilteristä poistuvan (kiertovesilaitos) veden happipitoisuus (mg/l) ja KB = kalabiomassa (kg).

Tuloveteen lisättävä happimäärä

$$\text{Hapen lisäys mg/h} = (H_{\text{tulovesi20}} - H_{\text{tulovesi}}) \times 1,33 \times Q$$

jossa; H_{tulovesi} = tuloveden happipitoisuus ennen puhtaana hapen lisäystä.

Lämmitysenergian tarve

Lämmitys (KWh) laskettiin kasvatusveden virtaaman (Q) ja tuloveden (L_{tulo}) ja kasvatusveden lämpötilan (L_{kasvatus}) avulla.

$$\text{Lämmitys (KWh)} = Q \cdot (L_{\text{kasvatus}} - L_{\text{tulo}}) \cdot 4,19$$

Jos $L_{\text{kasvatus}} - L_{\text{tulo}}$ oli 0 tai pienempi niin vettä ei lämmitetty.

Liite 2. Investoinnit ja muut kustannuserät

a) Investoinnit verkkoallaskasvatuksessa.

Verkkokassikasvatus		Tuotantolaitos 100 000 kg lupa	
Investoinnit	Määrä/Kpl	Poistoaika/V	Hinta yhteensä/€
Kasvatusmodulit			78 500
Verkkokassit, 1000m3	9	8	
Poikaskassit, 400m3	6	8	
Ruokintalaitteet	15	10	
Muut investointierät			162 000
Asennukset ja suunnitelmat		10	
Ruokinnanohjaus		15	
Koneet ja kalusteet		10	
Ajoneuvot, veneet		10	
Tuotantolaitteisto yhteensä			240 500
Perkaamo			75 000
Perkaustila		15	
Kylmähuone		15	
Tarvikkeet		15	
Maa- ja vesialueet		40	250 000
Investoinnit yhteensä			565 500

b) Investoinnit läpivirtauslaitoksessa. 6 tuotantoerää vuodessa.**Läpivirtauskasvatus Tuotantolaitos 100 000 kg lupa**

Investoinnit	Määrä/Kpl	Poistoaika/V	Hinta yhteensä/€	Poisto/€/V	Rahoitus/€/V
Kasvatusmodulit			338 500	27395	4570
Pyöröallas, iso 160m3	6	15			
Pyöröallas, pieni 70m3	6	15			
Hapetus, otsonointi -kolonni	1	10			
Pumppu 1 (tulovesi lämmönv.)	4	10			
Pumppu 2 (glykoli lämmönv.)	3	10			
Pumppu 3 (hapetuskolonniin)	3	10			
Pumppu 4 (lähtevävesi lämmönv)	3	10			
Pumppu 5 (glukoli lämmönv)	3	10			
Ilmastus	3	10			
Ruokinta, iso allas	6	10			
Ruokinta, pieni allas	6	10			
Vedenkäsittely			227 500	23 750	3 060
Lämmityssysteemi	1	10			
Happigeneraattori	1	10			
Otsonaattori	1	10			
Kompressori	1	10			
Rumpusuodatin	1	10			
Lietteenkeräyssäiliö	1	8			
Varustus					
Putkistot		10	32 000	3 200	458
Tulovesiputki					
Tulovesitykset sisällä					
Lieteputkistot ja viemäröinti					
Poistoputket					
Allaskohtainen putkitus	12				
Muut investointierät			405000	44167	5227
Sähköasennukset		10			
Ruokinnanohjaus		15			
Hälytys ja varavoima		5			
Suunnitelmat ja asennus		10			
Koneet ja kalusteet		10			
Ajoneuvot		10			
Tuotantolaitteisto yhteensä			1003000	98512	13314
Tuotantorakennus		15	385 500 €	25700	5783
Perkaustila					
Kylmähuone					
Tarvikkeet					
Maa-ala		40	150 000 €	3750	2588
Investoinnit yhteensä			1538500	127962	21684

c) Investoinnit kiertovesilaitoksessa. 6 tuotantoerää vuodessa.

Kiertovesikasvatus Tuotantolaitos 100 000 kg lupa

Investoinnit	Määrä/Kpl	Poistoaika/V	Hinta yhteensä/€	Poisto/€/V	Rahoitus/€/V
Kasvatusmodulit			396 500	28950	5796
Pyöröallas, iso 160m3	6	15			
Pyöröallas, pieni 70m3	6	15			
Hapetus, otsonointi -kolonni	3	10			
Bioreaktori	6	15			
Pumppu 1(kiertovesi)	6	10			
Pumppu 2 (tulovesi)	1	10			
Ilmastus	3	10			
Ruokinta, iso allas	6	10			
Ruokinta, pieni allas	6	10			
Vedenkäsittely			306 500	31 725	4 359
Lämmityssysteemi	1	10			
Happigeneraattori	3	10			
Otsonaattori	3	10			
Kompressori	3	10			
Rumpusuodatin 1 kiertovesi	3	10			
Rumpusuodatin 2 poistovesi	1	10			
Lietteenkeräyssäiliö	1	8			
Varustus		8			
Putkistot		10	32 000	3 200	458
Tulovesiputki					
Tulovesitykset sisällä					
Lieteputkistot ja viemärointi					
Poistoputket					
Allaskohtainen putkitus	12				
Muut investointierät			405 000	44 167	5 227
Sähköasennukset		10			
Ruokinnanohjaus		15			
Hälytys ja varavoima		5			
Suunnitelmat ja asennus		10			
Koneet ja kalusteet		10			
Ajoneuvot		10			
Tuotantolaitteisto yhteensä			1140000	108042	15840
Tuotantorakennus		15	385500	25700	5782,5
Laitos, perkaustila					
Kylmähuone					
Tarvikkeet					
Maa-ala		40	150 000	3750	2588
Investoinnit yhteensä			1675500	137492	24210

d) Investoinnit yhdistelmäkasvatuksessa (kiertovesi- ja verkkoallaskasvatus) kun tuotanto 100 tn vuodessa.

Yhdistelmäkasvatus Kiertovesilaitos-Verkkokassilaitos 100 tonnin tuotanto

Verkkokassikasvatus		Tuotantolaitos 50 000 kg lupa			
Investoinnit	Määrä/Kpl	Poistoaika/V	Hinta yhteensä/€	Poisto/€/V	Rahoitus/€/V
Kasvatusmodulit			42 000	4 950	584
Verkkokassit, 1000m3	6	8			
Muut investointierät			162 000	16 033	2 320
Tuotantolaitteisto yhteensä			204 000	20 983	2 904
Perkaamo			75 000	5 000	1 125
Maa- ja vesialueet			250 000	5 000	1 125
Investoinnit yhteensä			529 000	30 983	5 154

Kiertovesikasvatus		Tuotantolaitos 50 000 kg lupa			
Investoinnit	Määrä/Kpl	Poistoaika/V	Hinta yhteensä/€	Poisto/€/V	Rahoitus/€/V
Kasvatusmodulit			191 750	15 275	2 824
Pyöröallas, iso 160m3	3	15			
Pyöröallas, pieni 70m3	3	15			
Vedenkäsittely			329 500	34 025	4 688
Muut investointierät			282 500	30 917	3 618
Tuotantolaitteisto yhteensä			803 750	80 217	11 130
Tuotantorakennus			345 000	23 000	5 175
Maa-ala			150 000	3 750	2 588
Investoinnit yhteensä			1 298 750	106 967	18 892

e) Kiertovesikasvatuksen investointimäärät eri tuotantomäärillä.

Kiertovesikasvatus

Tuotantomäärä	100 tonnia	200 tonnia	400 tonnia
Investoinnit 1000 €			
Kasvatusmodulit	397	688	1144
Vedenkäsittely	339	514	732
Muut investointierät	405	600	780
Tuotantolaitteisto yhteensä	1141	1802	2656
Tuotantorakennus	385	570	815
Maa-ala	150	150	150
Investoinnit yhteensä	1676	2522	3621

f) Verkkoallaskasvatuksen investointimäärät eri tuotantomenetelmillä.

Kassikasvatus

Tuotantomäärä	100 tonnia	200 tonnia	400 tonnia
Investoinnit 1000 €			
Kasvatusmodulit	79	157	314
Muut investointierät	162	250	336
Tuotantolaitteisto yhteensä	241	407	650
Perkaamo	75	75	75
Maa- ja vesi alueet	250	250	250
Investoinnit yhteensä	566	732	975

g) Kaikille menetelmille yhteiset kustannuserät.

Kaikille menetelmille yhteiset kustannuserät

Kustannuserä	Määrä	Yksikkö	Selite
Henkilökustannukset			
Kiinteä henkilöstö	1500	€/kk	
Henkilösivukulut	50	%/palkkakulut	
Yrittäjän palkka	2500	€/kk	
Henkilösivukulut	40	%/palkkakulut	
<i>Henkilöstön määrä</i>			
Verkkokassikasvatus	1+1	Henkilöä+yrittäjä	100 tonnin tuotanto
Verkkokassikasvatus	2+1	Henkilöä+yrittäjä	200 tonnin tuotanto
Verkkokassikasvatus	4+1	Henkilöä+yrittäjä	400 tonnin tuotanto
Kiertovesikasvatus	2+1	Henkilöä+yrittäjä	100 tonnin tuotanto
Kiertovesikasvatus	3+1	Henkilöä+yrittäjä	200 tonnin tuotanto
Kiertovesikasvatus	5+1	Henkilöä+yrittäjä	400 tonnin tuotanto
Läpivirtauskasvatus	2+1	Henkilöä+yrittäjä	100 tonnin tuotanto
Kiertovesi-verkkokasvatus	3+1	Henkilöä+yrittäjä	50+50 =100 tonnia
Muut kiinteät kustannukset			
Hallinto	7,0	%/liikevaihto	
Muuttuvat kustannukset			
Poikaskustannukset	8,5	€/kg	90 gramman poikanen
Poikaskustannukset	41	€/kg	10 gramman poikanen
Rehukustannus	1	€/kg	
Väliaikainen henkilöstö	15	€/tunti	
Henkilösivukulut	40	%/palkkakulut	
Perkuutyö	0,75	tuntia/100kg	1 henkilön perkuutehokkuus
Energiakustannus	0,067	€/kWh	Noin 690 000 kWh/vuosi
Energiakustannus	0,065	€/kWh	Noin 1 300 000 kW/h vuosi
Energiakustannus	0,061	€/kWh	2 590 000 ja 3 150 000 kW/h vuosi
Pakkauskuustannus	1,1	€/10kg	styroxlaatikko
Kuljetuskustannus	150	€/7000kg/perattua kalaa	
Vakuutukset	2,0	%/liikevaihto	
Huolto ja puhdistustarvikkeet	2,0	%/liikevaihto	
Polttoaineet	0,5	%/liikevaihto	
Säilytys/jää	0,01	€/kg/perattua kalaa	
Pääomakustannukset			
Pitkäaikainen pääomakustannus	5	%/vuosi	investoinnit
Lyhytaikainen pääomakustannus	7	%/vuosi	sitoutunut pääoma

