



Luonnonvara- ja  
biotalouden  
tutkimus 50/2020

## **RantaRAS – Selvitys rantaan sijoitettavan kiertovesilaitoksen ja kalojen talvivarastoinnin mahdollisuuksista Suomen rannikolla**

Kalle Sinisalo, Rami Salminen, Markus Kankainen ja Jouni Vielma

# **RantaRAS – Selvitys rantaan sijoitettavan kiertovesilaitoksen ja kalojen talvivarastoinnin mahdollisuuksista Suomen rannikolla**

Kalle Sinisalo, Rami Salminen, Markus Kankainen ja Jouni Vielma

Viittausohje:

Sinisalo, K., Salminen, R., Kankainen, M. & Vielma, J. 2020. RantaRAS – Selvitys rantaan sijoitettavan kiertovesilaitoksen ja kalojen talvivarastoinnin mahdollisuuksista Suomen rannikolla. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 50/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 64 s.



ISBN 978-952-380-007-6 (Painettu)

ISBN 978-952-380-008-3 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-008-3>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Kalle Sinisalo, Rami Salminen, Markus Kankainen ja Jouni Vielma

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2020

Julkaisu vuosi: 2020

Kannen kuva: Kalle Sinisalo

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>



# Tiivistelmä

Kalle Sinisalo<sup>1</sup>, Rami Salminen<sup>2</sup>, Markus Kankainen<sup>3</sup> ja Jouni Vielma<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Blue Isle Oy, Rusthollarintie 13 H 66, 00910 Helsinki

<sup>2</sup>Rami Salminen T:mi, Niinilaaksontanhua 56, 23500 Uusikaupunki

<sup>3</sup>Luonnonvarakeskus, Itäinen Pitkätie 4 a, 20520 Turku

<sup>4</sup>Luonnonvarakeskus, Survontie 9, 40500 Jyväskylä

Suomessa kiinnostus ruokakalan tuottamiseksi suurissa avomerilaitoksissa on lisääntynyt ja useita uusia avomerilupia on haettu viimeisten vuosien aikana. Rannikolla on kuitenkin vain rajallinen poikas-tuotantokapasiteetti eikä paljoakaan kasvupotentiaalia, mikä saattaa muodostua avomerikasvatuksen pullonkaulaksi. Meren rantaan sijoitettavalla kiertovesilaitoksella voisi olla mahdollista parantaa avo-merilaitosten poikasten saatavuutta ja pienentää ympäristöön päätyvää ravinnekuormitusta.

Esimerkiksi Norjassa kiertovesilaitokset ovat yleistyneet nimenomaan poikastuotannossa ja poikasen toimituskoko merelle on kasvanut. Kiertovesilaitosten avulla turvataan poikasten tasainen saatavuus ympäröivistä luonnonolosuhteista riippumatta. Suuremmalla poikasella taas lyhennetään merikasva-tusaikaa, mikä pienentää verkkoallaskasvatukseen liittyviä riskejä, kuten lohitäitä tai myrskyjen aiheut-tamia vahinkoja.

Suomessa suurella noin puolen kilon painoisella kirjolohen poikasella on mahdollista saavuttaa tuo-tanto, jossa merikasvatus kestää vain yhden kasvatuskauden. Suuria poikasia voitaisiin kasvattaa ran-nan tuntumassa sijaitsevissa kiertovesilaitoksissa, jolloin suuria poikasia ei tarvitsisi kuljettaa isoja määriä sisämaasta. Jatkokasvatus tapahtuisi avomerilaitoksissa, joissa voidaan tuottaa suuria biomas-soja, jolloin tuotanto on kustannustehokkaampaa ja taloudellisesti kannattavaa.

Tässä raportissa kartoitettiin yhdistetyn avomeri- ja kiertovesiviljelyn haasteita sekä jatkoselvitystar-peita ja arvioitiin konseptin kannattavuutta. Suurimmat haasteet liittyvät osaavan työvoiman saata-vuuteen, alan koulutukseen, kalojen siirtämiseen kiertovesilaitoksesta merelle sekä tuotannon kannat-tavuuteen. Työssä on esitetty tuotantoperiaate RantaRAS-konseptille ja arvioitu tuotannon kannatta-vuutta. Arvion perusteella itse tuotetulla kiertovesipoikasella voidaan avomerikasvatuksessa tehdä kannattavaa liiketoimintaa, kunhan tuotannossa ei tapahdu odottamattomia tuotannonkeskeytyksiä ja kirjolohen tuottajahinnat eivät merkittävästi laske nykyisestä.

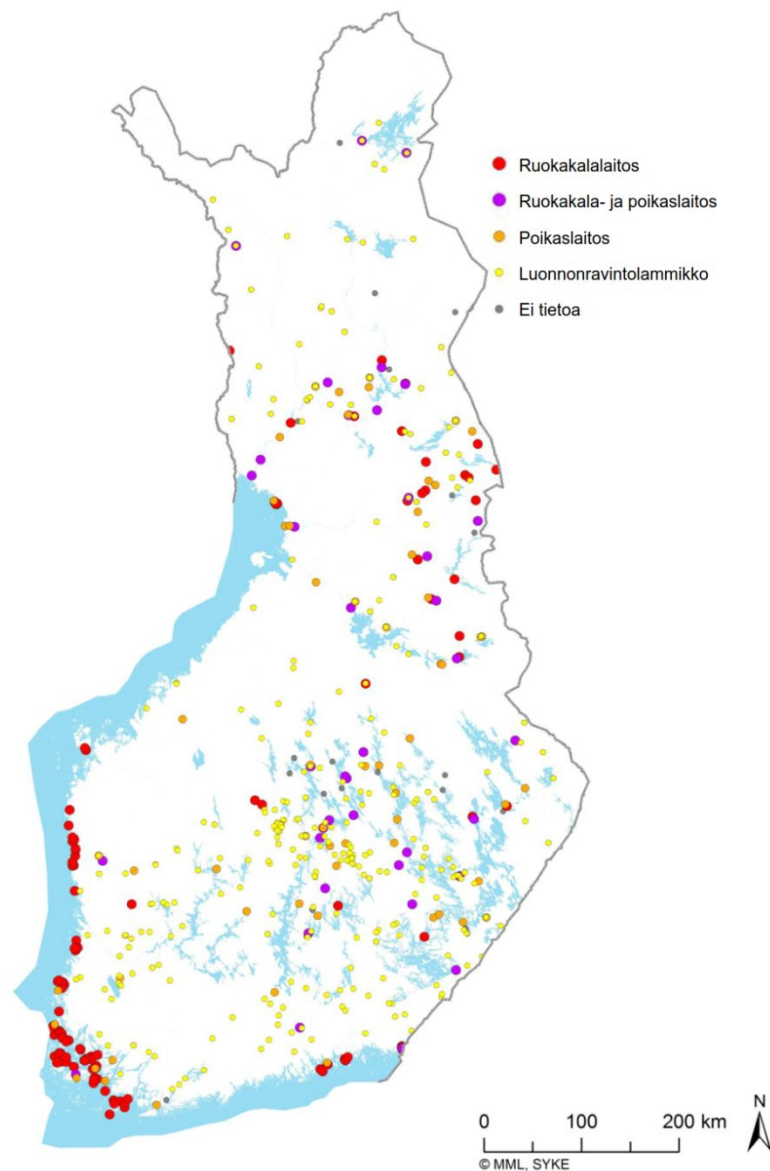
Asiasanat: kalankasvatus, kiertovesilaitos, avomerikasvatus, poikastuotanto, kirjolohi

# Sisällys

<b>1. Tuotantokierron ja RantaRAS -laitoskonseptin kuvaus.....</b>	<b>5</b>
1.1. Kirjolohen nykyisen tuotantokierron kuvaus.....	7
1.1.1. Poikaskasvatuksesta merelle ja perkuuseen.....	7
1.1.2. Talvivarastoinnin erityispiirteet .....	8
1.2. Tuotantokiertoihin vaikuttavat tekijät.....	8
1.2.1. Luonnonolosuhteisiin perustuva tuotantokierto .....	8
1.2.2. Kiertovesikasvatuksen vaikutukset tuotantokiertoon .....	8
1.3. RantaRAS -laitoksen ja talvivarastoinnin tuotantokiertokonseptin kuvaus.....	9
1.3.1. Kiertovesilaitos (RAS) .....	12
1.3.2. Avomerikasvatuksen tuotantokierto ja konsepti .....	13
1.3.3. Talvivarastointi maa-altaissa .....	14
1.3.4. Varastoinnin erikoisratkaisut .....	14
<b>2. Tuotannosuunnittelussa huomioitavat tekijät .....</b>	<b>16</b>
2.1. Kiertovesikasvatuksen haasteet.....	16
2.2. Siirtolämpötilojen tuomat haasteet.....	17
2.3. Kiertovesilaitoksissa raportoituja ongelmia.....	19
2.4. Yhdistetyn kiertovesi- ja merikasvatuksen haasteet Suomessa .....	20
<b>3. Keskeiset RAS-laitoksen mitoituksen ja tekniikkaan vaikuttavat tekijät .....</b>	<b>23</b>
3.1. Vedentarve.....	23
3.2. Lämmön- ja energiantarve.....	23
3.3. Ravinnekuormitus .....	24
<b>4. Kiertovesikasvatuksen kustannukset .....</b>	<b>28</b>
4.1. Käyttökustannukset .....	28
4.2. Investointikustannukset.....	31
4.2.1. Talvivarastoinnin investointikustannusten muodostuminen.....	32
<b>5. RantaRAS-konseptin tuotanto ja kannattavuus .....</b>	<b>33</b>
5.1. Kirjolohen oletettu kasvu avomerellä.....	33
5.2. Kirjolohen oletettu kasvu kiertovesilaitoksessa.....	33
5.3. RantaRAS-konseptin tuotantosuunnitelma .....	36
5.4. RantaRAS-konseptin kannattavuus.....	39
5.4.1. Poikasen omakustannehinta VE1.....	40
5.4.2. Poikasen omakustannehinta VE2.....	41
5.4.3. Avomerikasvatuksen kannattavuus .....	42
<b>6. Johtopäätökset ja lisäselvitystarpeet.....</b>	<b>45</b>
<b>Kiitokset.....</b>	<b>48</b>
<b>Viitteet.....</b>	<b>49</b>
<b>Liite A: Kasvumallissa käytetyt ruokintataulukot .....</b>	<b>54</b>
<b>Liite B: Kannattavuuslaskelmat .....</b>	<b>57</b>

# 1. Tuotantokierron ja RantaRAS -laitoskonseptin kuvaus

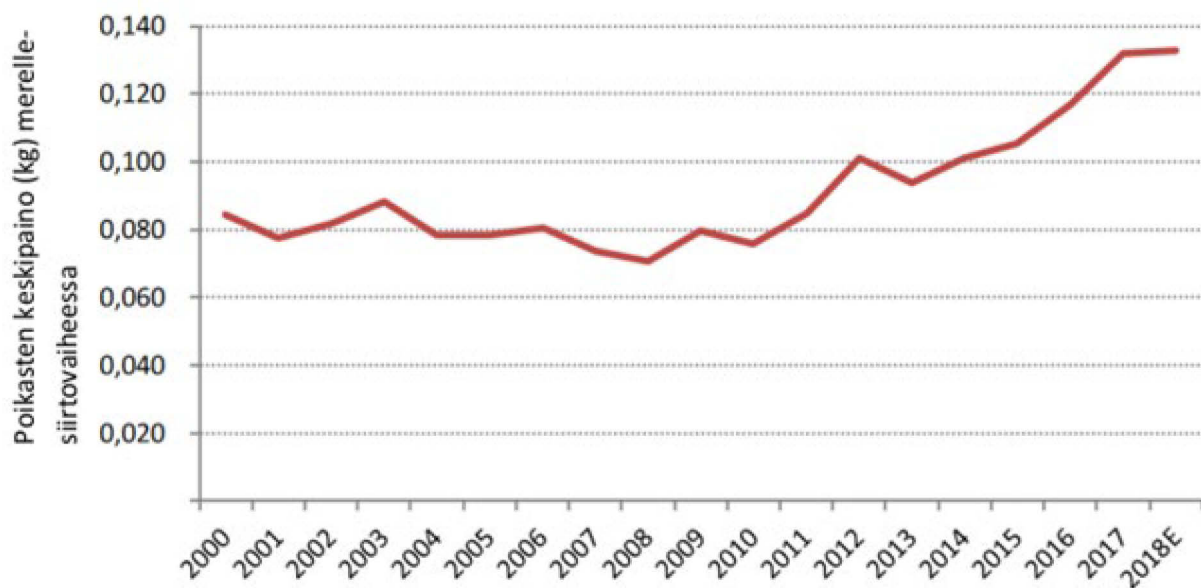
Suomessa kirjolohen viljely kattaa vuodesta riippuen noin 95 % kaikesta kasvatetusta ruokakalasta, tehden siitä merkittävimmän Suomessa viljellyn kalan. Kirjolohen tuotantomäärä vuonna 2018 oli noin 13,2 miljoonaa kiloa, josta yli 11 miljoonaa kiloa kasvatettiin merellä. Yli 90 % kaikesta merialueen kasvatuksesta tapahtuu Ahvenanmaalla sekä Varsinais-Suomessa. (Luonnonvarakeskus, 2019a.) Kirjolohen tuotanto rakentuu useasta tuotantovaiheesta, joita ovat jalostettujen emokalojen kasvatus, mädin haudonta, poikasten kasvatus, ruokakalan jatkokasvatus, perkaus sekä mahdollinen jalostus. Vaikka suurin osa ruokakalan kasvatuksesta tapahtuu merellä, sijaitsee tuotantoketjun alkupää eli emokalaston jalostus ja kasvatus, mädin haudonta sekä poikasten kasvatus sisävesilaitoksissa (Kuva 1). (Setälä ym., 2014; Seppälä ym., 2001.) Eri tuotantovaiheille on olemassa omat tuotantolaitokset ja kala liikkuu eri toimijoiden ja laitosten välillä. Mikäli tulevaisuudessa suurten avomerilaitosten määrä lisääntyy, on suurten tuotantoyksiköiden pystyttävä turvaamaan hyvä poikasten saatavuus.



**Kuva 1.** Kalanviljelylaitokset Suomessa (Setälä ym., 2014)

RantaRAS -laitoskonseptissa on tarkoitus yhdistää kiertovesilaitoksen poikastuotanto ja merellä tapahtuva jatkokasvatus siten, että haluttu perkuukoko saavutetaan yhdellä merikasvatuskaudella. Tätä varten poikasen tulee keväällä ennen merelle siirtoa olla minimissään saman kokoinen kuin yhden merikasvukauden ja talven meressä talvisäilytyksessä viettänyt poikanen, siis noin 0,5 kg valitusta lopputuotteesta ja perkausajankohdasta riippuen. RantaRAS -laitoskonseptissa kalanpoikasta kasvatetaan kiertovesilaitoksessa rannikon läheisyydessä, jolloin kuljetusmatkat merellä sijaitseviin suuriin jatkokasvatyksiöihin ovat lyhyet. Näin pystyttäisiin takaamaan suurenkin biomassan nopea siirto merelle kasvukauden alkuun mennessä, jolloin koko kasvukauden pituus saadaan hyödynnettyä. Yhdistetyn kiertovesi- ja avomerikasvatuksen haasteina ovat muun muassa täysin erilaisten tuotantokiertojen yhteensovitus sekä talvi, jolloin suurtakin poikasmäärää tulee voida varastoida merikasvukautta varten.

Suurimmassa lohikalojen tuottajamaassa Norjassa kiertovesikasvatuksen hyödyntäminen poikaskasvatuksessa on yleistynyt, minkä lisäksi merelle siirrettävän lohen eli smoltin poikaskoko on kasvanut merkittävästi viimeisten vuosikymmenten aikana. Kun 1980-luvun puolivälissä poikasen keskikoko oli 30-50 g, oli se 2000-luvun alussa jo 80-125 g (Bergheim & Brinker, 2003). Viimeisten vuosien aikana poikasen koko on kasvanut entisestään. Vuonna 2018 keskipaino oli jo 135 g (Kuva 2) (Iversen ym., 2018). Tällä hetkellä yhä suurempi osa norjalaisista kalanviljelijöistä käyttävät vähintään 250 g poikasta (ns. post-smoltti) (Sandvold ym., 2019). Kun vuonna 2016 noin 3-4 % merelle siirretyistä poikasista oli yli 250 g oli vuonna 2018 osuus jo noin 10 % (Iversen ym., 2018). Suuremman poikaskoon käyttö selittyy poikasten paremmalla kestävyydellä muun muassa lohitäitä, leväkukintoja ja tauteja vastaan sekä merivaiheen keston lyhenemisellä, jolloin riski ympäristövaikutusten ja lohitäihoitojen aiheuttamalle kuolleisuudelle pienenee (Bjørndal & Tusvik, 2017; Ernst & Young, 2018; Meriac, 2019).



**Kuva 2.** Poikasten keskipaino merelle siirtovaiheessa Norjassa 2000-2018 (ennuste) (Iversen ym., 2018)

Norjalaiset kalanviljelijät ovat panostaneet merkittävästi kiertovesilaitoksiin nimenomaan poikastuotannossa. Vuosien 2013-2016 aikana kiertovesilaitosten määrä lähes nelinkertaistui 23:sta laitoksesta 90:een kiertovesilaitokseen ja arvion mukaan noin 30 % Norjan poikastuotannosta tapahtui kiertovesilaitoksissa (DNB Markets, 2017). Kiertovesikasvatetusta poikasesta onkin tullut osa norjalaista kalanviljelyä, vaikka itse kiertovesikasvatetun ruokakalan tuotantomäärät eivät ole vastanneet muutaman vuoden takaisia ylioptimistisia tuotantoennusteita (DNB Markets, 2019).



## 1.1. Kirjolohen nykyisen tuotantokierron kuvaus

### 1.1.1. Poikaskasvatuksesta merelle ja perkuuseen

Kirjolohen nykyinen tuotantokierto alkaa emokalalaitokselta. Emokalalaitoksilla suoritetaan emokalojen geneettistä valintaa, kasvatusta sekä ylläpitoa. Emokalojen mäti ja maiti lypsetään Suomessa jouluja kesäkuun välisenä aikana ja hedelmöitetty mäti siirretään hautomoon. Mätiä myös myydään sellaisille hautomoille, joilla ei ole omaa emokalastoa. Ruokakalatuotannossa käytetään tyyppillisesti ns. kääntökoiraista lypettyä maitia, jolloin kaikki tuotetut poikaset ovat naaraita. Kääntökoiraat saadaan tuotetuksi syöttämällä vastakuoriutuneille kirjolohen poikasille testosteronia sisältävää rehua, jolloin naarat muuttuvat hormonikäsittelyn seurauksena maitia tuottaviksi koiriksi. Käytäntö on yleinen myös maailmalla eikä hormoniruokittua kalaa käytetä elintarvikkeena. Haudonta tapahtuu makeassa vedessä haudontakaukaloissa, -suppiloissa tai -saaveissa ja hautomo on käytössä vain sen ajan, minkä hautominen vaatii. (Silvenius, 2000; Setälä ym. 2014; Seppälä ym. 2001; Evira, 2016.) Kirjolohen mädin haudonta vie aikaa lämpötilasta riippuen noin 370-400 päiväastetta ja ruskuaispussivaihe kestää noin 150 päiväastetta (Cho & Cowey, 1991; Cowx, 2005; Naukkarinen, 1981). Päiväasteet määritetään laskemalla yhteen päivittäiset veden keskilämpötilat. Ruskuaispussivaiheessa kalanpoikanen käyttää ravintonaan ruskuaispussin sisältöä ja sen huvettua ne alkavat itse aktiivisesti hakea ravintoa.

Kun poikaset ovat oppineet itse syömään, siirretään ne poikashallien suurempiin altaisiin, josta ne voidaan myöhemmin siirtää myös jokien uoma-altaisiin ja kasvattaa suurempaan kokoon seuraavan vuoden kasvatusta varten. Ennen siirtoa makeasta vedestä merelle poikaset rokotetaan tavallisesti ainakin furunkuloosia ja vibrioosia vastaan. Yleisin toimituskoko merelle on 10-30 g (Mustajärvi, 1999; Lankinen 1999, viitattu lähteessä Seppälä ym., 2001; Lyytikäinen ym., 2007.)

Kirjolohen ensimmäinen merikasvatusvaihe alkaa tyyppillisesti sisämaassa kasvatetulla noin 20 g poikarella, joka tuodaan rannassa tai rannan tuntumassa olevalle verkkoallaslaitokselle touko-kesäkuussa tai syksyllä vesien taas viilennettyä. Ensimmäisen kasvukauden aikana poikaset saavuttavat syksyn loppuun mennessä tyyppillisesti noin 400 g painon. Koska pääosa kirjolohen poikaskasvatuksesta sijaitsee sisämaassa, kertyy esimerkiksi Varsinais-Suomen meripoikaslaitoksille kuljetuksiin useampi sata kilometriä. (Kankainen ym., 2020; Mustajärvi, 1999; Seppälä ym., 2001.) Kalat lajitellaan ensimmäisen kasvukauden päätteeksi syksyllä tai ennen seuraavaa kasvukautta keväällä. Kalat siirretään talveksi talvisäilytyspaikkaan (myös talvivarastointipaikka), mikäli poikaslaitoksen sijainti on sellainen, ettei siinä voi säilyttää kaloja talven yli. Kalat talvehtivat jääkannen alla eikä kaloja ruokita lukuun ottamatta suolen toimintaa ylläpitävää todella kevyttä ruokintaa. Kalat menettävätkin hieman painoa talven aikana. (Kankainen ym., 2020; Setälä ym., 2014.) Talvisäilytyspaikat ovat valikoituneet sellaisiksi, missä veden laatu pysyy kaloille suotuisana läpi koko talven. Lisäksi talvisäilytyspaikalta vaaditaan tasaisesti muodostuvaa ja sulavaa jääkantta, joka ei liiku ja näin ollen vaurioita kasvatuskehikoita. Joillain alueilla on myös mahdollista esiintyä alijäähtynyttä vettä, joka pahimmassa tapauksessa sekoittuu syvempiin vesikerroksiin ja tarttuu kalojen kiduksiin aiheuttaen suurta kuolleisuutta (Rahkonen ym., 2012). Alijäähtyneen veden riski on kuitenkin olosuhteista riippuvaa sekä paikkakohtaista ja vaikuttaa vain pieneen osaan talvisäilytyspaikoista, sillä riskipaikat tunnetaan nykyään entistä paremmin ja talvivarastointia näillä paikoilla osataan välttää.

Seuraavan kasvukauden alussa kalat hinataan talvisäilytyspaikalta ulommille jatkokasvatusalueille, jossa ne kasvatetaan teuraskokoon asti. Poikasen koosta sekä kasvatusolosuhteista riippuen kalat saavuttavat 1,5-3 kg painon toisen kasvukauden päätteeksi. (Kankainen ym., 2020). Tyyppillisesti kalat hinataan rantaan ja teuraskalat siirretään kassista perattavaksi. Osa kaloista saatetaan vielä toisenkin kasvukauden päätteeksi laittaa talvisäilytykseen, jolloin niiden tuotantokierto kattaa 3 kasvukautta. Kirjolohta voidaan perata jo noin 500-700 g painoisena ns. annoskirjolohena, mutta yleensä kala kasvatetaan Suomessa vähintään 1,5 kg painoiseksi. Etenkin yli 2 kg painoiselle kirjolohelle on kysyntää,

koska siitä voidaan valmistaa kuluttajien suosimia jatkojalosteita kuten tuoretta fileettä tai edelleen graavi- ja savukalatuotteita. Johtuen suuresta tarjonnasta, kirjolohen hinta on alhaisimmillaan marras-joulukuussa ja osa kasvattajista voi pyrkiä myöhentämään perkuuta alkuvuodelle paremman tuottajahinnan toivossa.

### 1.1.2. Talvivarastoinnin erityispiirteet

Verkkoaltaat ja kehikot hinataan loppusyksystä saariston suojaan talvisäilytyspaikoille, jotta syysmyrkyt ja talvella jään liikkuminen sekä ahtojäät eivät vaurioittaisi niitä. Merialueen kelluvat kehikot eivät kestä paksujen, liikkuvien jäälauttojen massaa. Talvisäilytyspaikat sijaitsevatkin suojaisilla alueilla, jossa jään liike on maltillista ja ahtojäitä ei pääse muodostumaan. Verkkoaltaat voivat olla joko tyhjinä talven yli tai niissä voidaan säilyttää kalaa. Mikäli altaissa on kalaa, pyritään talvisäilytyspaikalle mahdollistamaan valvonta. Talvisäilytyspaikalle on eduksi, jos se sijaitsee rannan välittömässä läheisyydessä. Tällöin kalojen hoito ja allasrakenteiden huolto on helpommin järjestettävissä, etenkin kelirikkoaikaan. Mikäli talvisäilytyspaikka ei sijaitse välittömästi rannan yhteydessä, saatetaan kelirikkoai- kana tarvita venettä, joka kestävä syystalven heikot jäät ja kevättalvella irtojäät. Talvella jääpeitteen paksuuntuessa valvontaa voidaan alkaa suorittamaan esimerkiksi moottorikelkalla, mönkijällä tai hydrokopterilla. Talvella kirjolohta ei ruokinta lisäkasvua tavoitellen, vaan ruokinnan tarkoitus on pelkäs- tään ylläpitää suoliston toimintaa. Talven aikana kirjolohet menettävätkin hieman painoa ja talvivaras- toinnin ympäristökuormitus on vähäistä. (Kankainen ym., 2014b; Kankainen ja Niukko, 2014; Leppä- nen ym., 2018)

## 1.2. Tuotantokiertoihin vaikuttavat tekijät

### 1.2.1. Luonnonolosuhteisiin perustuva tuotantokierto

Perinteinen kalankasvatus on Suomessa erittäin syklistä johtuen vahvoista vuodenajanvaihteluista. Merialueella kasvukauden pituuteen vaikuttavat merkittävimmin veden lämpötila sekä tuuli- ja jääolo- suhteet. Kirjolohi syö optimilämpötilaan (16-18 °C) nähden heikosti alle 8 °C lämpötiloissa ja esimer- kiksi 2 °C lämpötilassa ruokintamäärä on enää vain noin kymmenesosa optimilämpötilan ruokinnasta. Tästä syystä kaloja ei käytännössä ruokita talviaikana ja kalojen lisäkasvua saadaan kevästä syksyyn. Kirjolohi syö parhaiten nousevaan lämpötilaan ja pitenevään päivään, mikä tarkoittaa, että keväällä ruokahalu on syksyä parempi vastaavissa lämpötiloissa. Lämpötilan mennessä yli 18 °C kirjolohen ruo- kintaa jarrutetaan ja yli 20 asteessa kalojen ruokahalukin heikkenee, ja ruokinta lopetetaan kokonaan noin 22 asteessa. (Kankainen, ym., 2019; Raisioaqua, 2018.)

Kaloja siirretään merelle mieluiten alle 10 asteen lämpötilassa ennen kesää ja uudelleen syksyllä. Tal- vella jääkansi ja keskikesällä veden korkeat lämpötilat estävät kalojen siirtämisen merelle. Loppusyk- systä lisääntyvät kovat tuulet voivat estää ruokinnan järjestämistä sekä lisäävät kasvatuskehikoiden rikkoutumisriskiä. Tästä syystä kasvatusaltaat siirretään lähemmäksi rannikkoa ja talvisäilytysalueita syksyn edetessä. Kasvukauden pituus vaihtelee Suomessa merkittävästi Suomenlahden, Saaristome- ren ja Pohjanlahden välillä. Veden pintalämpötila ja syksyn lisääntyvä tuulisuus huomioon ottaen kas- vukauden pituus vaihtelee Suomessa 21 viikosta (Perämeri) 30 viikkoon (Saaristomeri). Kasvukauden pituuksissa on luonnollista vaihtelua vuosien välillä. (Kankainen ym., 2020.)

### 1.2.2. Kiertovesikasvatuksen vaikutukset tuotantokiertoon

Kuten edellä jo mainittiin, perinteinen kalankasvatus on tuotannoltaan syklistä. Kiertovesilaitoksen toi- minnan kannalta sen sijaan on edullista, että laitoksen biomassa pysyy mahdollisimman tasaisena koko tuotannon aikana. Tällöin laitoksen käyttöaste eri tuotantovaiheissa saadaan pidettyä mahdollisim- man korkealla, jolloin kallista kiertovesilaitosta käytetään tehokkaasti. Lisäksi muun muassa laitoksen

biosuodatus toimii paremmin, kun biomassassa ei ole suuria vaihteluita. Kiertovesilaitoksen tuotantoa voidaankin kuvata tasaisena.

Tällaisten toisistaan eroavien tuotantomenetelmien yhteensovittaminen vaatii erityistä tuotannon-suunnittelua. Kasvukauden alkaessa merelle on saatava tietyn kokoista kalanpoikasta tietty määrä, joten tasaisesti kalanpoikasta tuottavan kiertovesilaitoksen on pystyttävä varastoimaan jo tuon halutun koon saavuttaneen poikasen välivarastoon ennen merelle siirtoa.

Kiertovesikasvatuksen yhteensovittamista luonnonolosuhteisiin perustuvaan tuotantoon voidaan helpottaa tuotantomenetelmiä ja –rytmiikkaa muuttamalla. Esimerkiksi mätiä voidaan ottaa laitokselle useaan kertaan vuodessa, otettavan mädin määrää voidaan vaihdella ja halutessa osa kaloista voidaan kasvattaa teuraskokoon asti. Tällöin tuotantoon tulee monta eri muuttujaa ja se monimutkaistuu, mutta toisaalta laitoksen käyttöastetta saadaan pidettyä korkeana sellaisinakin aikoina, kun valmistuvaa poikasta ei syystä tai toisesta haluta tai päästä viemään säilytykseen tai verkkokasseihin. Mikäli tuotantoon otetaan myös teuraskalatuotanto, voidaan kalan valmistumista perkuuseen pyrkiä ajoittamaan sellaisille ajankohdille, kun markkinoilla on heikosti kalaa tarjolla, jolloin tuottajahinnat ovat korkeammat.

### 1.3. RantaRAS -laitoksen ja talvivarastoinnin tuotantokierto-konseptin kuvaus

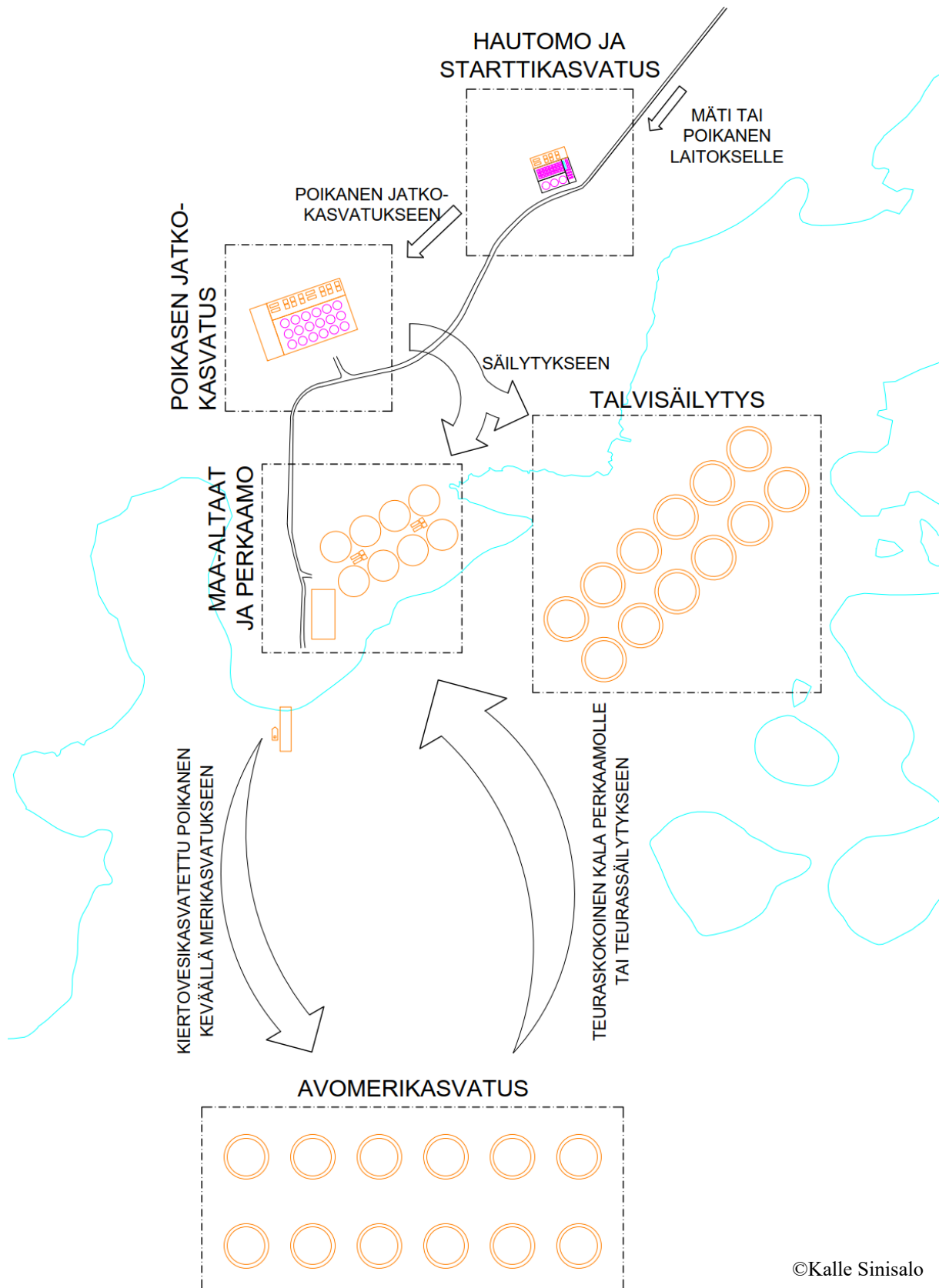
RantaRAS -laitoksen perusideana on tuottaa kiertovesilaitoksessa avomerikasvatukseen kalanpoikasta, joka yhden kasvukauden aikana saavuttaa merikasvatuksessa teuraskokoon. Konseptin lähtökohtana on, että koko kalankasvatuksen ketju olisi mahdollisimman hyvin yhden konsernin alaisuudessa, jolloin tuotantovarmuus vahvistuu ja eri yksiköiden taloudellisia tuloksia voidaan tasata konsernin sisällä. Konseptin tuotantoyksiköitä ovat hautomo-, startti- ja kiertovesilaitos, säilytykseen soveltuvat maa-alaat, avomeriyksikkö sekä mahdollisesti perkaamo sekä talvisäilytysalueet (Kuva 3). RantaRAS -konseptissa kiertovesilaitoksen ensisijainen tehtävä on kasvattaa poikasta avomerilaitokselle, jossa suurien massojen tuottaminen on kilpailukykyistä. Tuotantosuunnitelmasta riippuen kiertovesilaitoksessa voidaan kuitenkin lisäksi esimerkiksi kasvattaa poikasta myytäväksi muille yrityksille tai kasvattaa osa kalasta teuraskokoon asti. Parhaassa tapauksessa tuotanto on joustavaa, jolloin kiertovesilaitos pystyy palvelemaan useampaa eri tuotantovaihtoehtoa.

Konseptin tuotanto alkaa hautomoon tai starttikasvatustalaitokseen saapuvasta mädistä tai pienestä poikasesta. Mätiä tai pientä poikasta voidaan ottaa makean veden kiertovesilaitokseen useamman kerran vuodessa, jolloin tavoitekoon saavuttaneita poikasia myös siirretään pois kiertovesilaitoksesta useamman kerran vuodessa. Tällöin laitoksen biomassaa saadaan pidettyä suhteellisen tasaisena ja laitoksen altaiden määrä voidaan suunnitella pienemmäksi. Alkupään kasvatusta vaatii hyvälaatuista vettä, sillä sekä mäti että pienet kalanpoikaset ovat herkkiä vedenlaadun suhteen. Murtovedettä ei ole syytä käyttää ennen kuin kalanpoikaset on rokotettu ja rokotteen vasteen vaatima lämpösumma on saavutettu. Murtovedessä piilee kalatautien riski, jota pohjavedessä ei ole. Mikäli tuotantotilat ja laitoksen vesitys sen sallivat, voidaan kala kasvattaa samalla tontilla aina silmäpistemädistä merikasvatukseen sopivaksi poikaseksi asti. Kuljetusmatkojen minimoimiseksi olisi järkevää, että kiertovesilaitos sijaitsee suhteellisen lähellä kalojen välivarastointialueita. Mikäli hyvälaatuista vettä ei ole lähellä välivarastointialueita riittävästi tarjolla, voidaan hautomo ja starttikasvatusta toteuttaa kauempanakin. Pientä poikasta on vielä suhteellisen helppoa kuljettaa suuriakin kappalemääriä säiliöautossa, jolloin kalan siirrot onnistuvat suurta poikasta helpommin.

Koska kiertovesilaitokseen otetaan alkubiomassaa (mätiä tai pientä kalanpoikasta) useamman kerran vuodessa, valmistuu merikasvatukseen soveltuvan kokoista kalaa laitoksesta tasaiseen tahtiin. Valmis-

tuvia poikaseriä täytyy välivarastoida, joko maa-altaisiin tai meressä oleviin verkkokasseihin odotta-  
maan seuraavan merikasvukauden alkua. Periaatteessa valmistuvia poikaseriä voidaan siirtää meressä  
oleviin verkkoaltaisiin kelirikkoajan ulkopuolella, mutta käytännössä tämä ei ole mahdollista monessa-  
kaan paikassa. Maa-altaisiin siirtäminen on teknisesti helpompaa myös kelirikkoaikana. Kalojen siir-  
toon pois kiertovedestä liittyy kuitenkin mm. veden lämpötilaan liittyviä ongelmia, joita käsitellään  
myöhemmin tarkemmin.

Tuotantosuunnitelmasta riippuen poikaseriä valmistuu pitkin vuotta ja eri eriä säilytetään eri pituinen  
aika. Tärkeää on kuitenkin rytmittää tuotanto siten, että keväällä heti kelien sen salliessa poikasta on  
valmistunut suunniteltu määrä vietäväksi avomeriyksiköihin. Tällöin koko merikasvatuksen kasvukausi  
on mahdollista saada hyödynnettyä, kun suurten avomerikasvatusyksiköiden vaatima poikasmäärä on  
valmiina lähellä rannikkoa välittömästi kasvukauden alkaessa eikä poikasta tarvitse tuoda pidemmältä.  
Maa-altaiden sijaitessa lähellä perkaamoa, voidaan niitä hyödyntää myös teuraskokoisen kalan säily-  
tyksessä loppusyksystä eteenpäin, kun teuraskalat tuodaan pois mereltä. Tällöin kalaa voidaan säilyt-  
tää altaissa talven, jolloin perkuuta voidaan parhaassa tapauksessa rytmittää aina kevääseen asti.



©Kalle Sinisalo

**Kuva 3.** Havainnekuva RantaRAS-konseptin viljelykierrosta. Nuolten koko indikoi siirrettävän biomassan määrää.

### 1.3.1. Kiertovesilaitos (RAS)

Kiertovesiviljelyllä tarkoitetaan kasvatemuotoa, jossa vettä kierrätetään kasvatusaltaiden ja puhdistuslaitteiston välillä. Kiertovesilaitokseksi soveltuu esimerkiksi halli, joka on varustettu eri kokoisilla kasvatusaltilloilla, joista vettä siirretään pumpuilla mekaaniseen, biologiseen ja kemialliseenkin vedenpuhdistukseen. Vedenpuhdistuksen lisäksi vettä ilmastetaan hiilidioksidin poistamiseksi, hapetetaan, veden pH säädetään sekä tarvittaessa desinfioidaan. Jatkuva veden kierrättämisestä ja puhdistuksesta johtuen menetelmä säästää vettä ja uutta vettä tarvitaan vain 1-2 % kiertävän veden määrästä (Luonnonvarakeskus, n.d.). Uutta vettä tarvitaan laimentamaan veden nitraatin ja kiintoaineen pitoisuutta ja korvaamaan haihtuvaa sekä lietteen mukana poistuvaa vettä. Kiertovesikasvatuksessa myös esimerkiksi valaistusta ja veden lämpötilaa voidaan säätää, jolloin kaloille voidaan luoda parhaat mahdolliset kasvuolosuhteet, jolloin kala kasvaa nopeasti, säilyttäen kuitenkin rehutehokkuuden. Kasvatemuoto vaatii teknisyytensä vuoksi suhteellisen paljon energiaa, mikä nostaa käyttökustannuksia.

Kiertovesilaitoksia jaotellaan sen mukaan paljonko uutta vettä laitokset ottavat järjestelmänsä syötettyä rehukiloa kohden. Lyhyesti voi tiivistää, että mitä vähemmän uutta vettä otetaan kaloille annettua rehukiloa kohden, sitä enemmän vettä täytyy käsitellä. Verkkokassi- tai läpivirtauslaitoksilla vedenlaatu turvataan jatkuvalla veden virtauksella, jolloin sitä ei tarvitse erikseen puhdistaa. Veden kierrätysasteen lisääntyessä tarvitaan yhä useampia vedenkäsittelytekniikoita hyvän vedenlaadun ylläpitämiseksi (Taulukko 1).

**Taulukko 1.** Kalanviljelyn laitostyyppit vedenkulutuksen mukaan jaoteltuna sekä kasvatusta rajoittavat tekijät. Heldbon (2014) kuvaa muokaten.

Laitoksen tyyppi	Korvausveden määrä rehukiloa kohden, litraa	Kiertoaste	Rajoittava tekijä	Vedenkäsittely
Perinteinen läpivirtaus	50 000	0 %	(happi)	(ilmastus)
Osittaiskierto (reuse)	10 000-25 000	60 %	happi + hiilidioksidi + kiintoaine	hapetus + kaasujen poisto + mekaaninen suodatus
Danish model farm	5 000- 10 000	90 %	+ ammoniakki + pH	+ nitrifikaatio + pH kontrolli
Tyypillinen kiertovesilaitos	400-1 000	99 %	+ patogeenit + lämpötila	+ desinfektointi (UV, otsoni) + lämpötilanhallinta
Intensiivinen kiertovesilaitos	50-400	99,9 %	+ nitraatti + fosfori + sameus / ruskea väri	+ denitrifikaatio + kemiallinen saostus + hienojakoisen partikkelin poisto

Vettä kierrätettäessä ensimmäisenä rehun hyväksikäyttökykyä ja kasvua alkaa rajoittaa veteen liuenneen hapen määrä. Perinteisen läpivirtauskasvatuksen tarpeisiin voi riittää ilmastin, mutta kiertovesikasvatuksessa veteen tulee aina liuottaa ylikylläisiä määriä happea. Veteen liuenut hiilidioksidi alkaa myös rajoittamaan kasvua veden kierrätysasteen noustessa ja sitä voidaan poistaa ilmastamalla. Kalalajista riippuen seuraavana rajoittavana tekijänä tulee yleensä vastaan vedessä olevan kiintoaineen määrä. Kiintoaineen poistoa voidaan tehostaa allasvalinnalla siten, että kasvatusaltaat toimivat pyörreselkeyttiminä, jolloin kiintoaine kerätään altaan pohjasta. Lisäksi järjestelmään liitetään tavallisesti rumpusuodatin, joka poistaa vedestä jo melko pienen kiintoaineksen. Kierrätysastetta lisättäessä on seuraavaksi vuorossa liukoisen ammoniumtyypen poistaminen. Kokonaisammoniumtyypen (TAN) pitoisuuden kasvaessa myös kaloille myrkyllisen ammoniakkin (NH<sub>3</sub>) pitoisuus kasvaa (ammoniakkin pitoisuus

on sidoksissa ammoniumtyyppeen sekä pH-arvoon). Ammoniakki poistetaan järjestelmästä bioreaktorin (biosuodatin) avulla, jossa ammoniakki muuttuu nitrifikaatio -prosessissa vähemmän haitalliseen muotoon nitraatiksi (NO<sub>3</sub>). (Lekang, 2007.)

Yllä mainittujen tyypillisimpien vedenkäsittelyiden lisäksi kiertovesilaitoksiin täytyy liittää pH:n säätö, sillä sekä bioreaktorin nitrifikaatio -prosessi että veteen liuennut hiilidioksidi alentavat pH:ta. Kierrätettävää vettä voidaan lisäksi desinfioida bakteerien ja muiden taudinaiheuttajien tappamiseksi esimerkiksi ultraviolettivalolla tai otsonilla. Otsonoinnilla on myös muita hyödyllisiä seurauksia kuten kiintoaineen poiston tehostuminen. Kun uuden veden tarvetta entisestään pienennetään, alkaa nitraattipitoisuudet kohota vaarallisen korkealle tasolle. Tässä vaiheessa prosessiin joudutaan lisäämään denitrifikaatio, jolla poistetaan järjestelmään kertyvää nitraattia. (Lekang, 2007.) Vedessä leijuvat hienojakoiset partikkelit saadaan poistettua vedestä esimerkiksi otsonilla ja ns. proteiiniskimmerillä (valkuaisainevaahdotin) (Heldbo, 2014).

Kiertovesiviljely kala vaatii ennen teurastusta normaalin paaston lisäksi raikastuksen, jonka aikana makuvirheet poistuvat kalan lihasta. Makuvirheitä syntyy mm. geosmiinista (GSM) sekä 2-metyyliisoborneolista (MIB), joita muodostuu bakteerien metaboliatuotteina (Davidson ym., 2014). Vaikka yhdisteet eivät sinällään vaikuta syötävän elintarvikkeen turvallisuuteen, antavat ne kalalle niin sanottua ”mudan makua”, joka voi pilata kalan maun. Makuvirheiden poisto voidaan toteuttaa esimerkiksi otsonoimalla, aktiivihiihluodatuksella tai erilaisilla kemikaaleilla, mutta toistaiseksi tehokkain menetelmä on raikastus, jossa raikasta vettä johdetaan paastotusaltaisiin (raikastusaltaisiin) läpivirtausperiaatteella (Lindholm-Lehto ja Vielma 2019).

### 1.3.2. Avomerikasvatuksen tuotantokierto ja konsepti

Avomerilaitoksella ei ole saariston tuomaa suojaa luonnonvoimia vastaan. Suomessa ne tulisivat sijaita perinteistä kasvatuslaitosta kauempana rannikosta, jolloin laitokselle kulkeminen vie enemmän resursseja. Merialueen olosuhteet ovat rajummat, jolloin tuotantorakenteet täytyy olla sitä varten erikseen suunnitellut, mutta avoimesta merialueesta on myös etuja. Ravinnekuormituksen ympäristövaikutukset ovat pienempiä, joten avoimille merialueille on myönnetty suurempia ympäristölupia. Ympäristön kannalta sopivimpia ovat avoimet ja syvät merialueet, joissa on hyvä virtaus veden vaihtumiseksi.

Rajuista luonnonoloista johtuen avomerikasvatus soveltuu vain teuraskalan tuotantoon eikä poikaslaitoksia voi sijoittaa avomerelle poikasten ja tuotantotekniikan herkkyyden takia. Poikaslaitoksissa esimerkiksi verkkokassin havas on tiheämpää, eivätkä ne siten pysy muodossaan alueilla, joilla on voimakkaita virtauksia. Tiheät hapaat myös tukkiutuvat helposti, ja niiden huolto ja vaihtaminen avomerellä on vaikeaa. Lisäksi esimerkiksi ruokinnan järjestäminen pienelle poikaselle on avomerellä vaikeampaa, sillä kaloja tulisi ruokkia lukuisia kertoja päivässä. Näin ollen suurten avomerilaitosten tuotannon turvaamiseksi rannikolla tai sisämaassa tulee olla riittävästi poikasen tuotantoon sopivia laitoksia. (Kankainen ym., 2014b.)

Kalaa voidaan pyrkiä avomerellä viljelemään yhden tai useamman kasvukauden konseptilla. Yhden kasvukauden konsepti edellyttää, että kala on avomeriyksikköön mennessään riittävän suuri, jotta se saavuttaa teuraspainon yhden kasvukauden aikana. Mikäli kasvukausia on useampia, voi kala olla avomerelle mennessään pienempää, mutta tällöin kalaa on varastoitava talven yli talvisäilytysalueille. Talvisäilytys tuo omat riskinsä, sillä pahimmassa tapauksessa viljelijä voi menettää isonkin osan kaloistaan, mikäli talvisäilytyksen olosuhteet eivät ole otolliset. Lisäksi talvisäilytykseen sopivia alueita ei välttämättä ole saatavilla. Yhden kasvukauden kierto edellyttää kalliimpaa investointia poikasiin, mutta toisaalta koko luvan sallima lisäkasvu voidaan ohjata sen vuoden teuraskalatuotantoon. Useamman kasvukauden tuotantokierrrossa osa lisäkasvusta joudutaan käyttämään seuraavan kasvukauden

aikana valmistuvan teuraskalan tuottamiseen, jolloin luvan salliman lisäkasvun määrää ei voida perata vuosittain.

Kasvatusolosuhteet avomerellä ovat yleisesti hyvät, sillä vesi on hapekasta ja avoimilla alueilla jäät sulavat keväällä aiemmin kuin rannikon läheisyydessä. Syksyn tullen tuotantorakenteet on poistettava avomereltä aikaisemmin, jotta myrskyjen ja kelirikon riskiltä vältetään. Kasvukausi voi kuitenkin olla avomerellä lähes yhtä hyvä kuin rannikon tuntumassa, sillä keskikesällä veden lämpötila ei avoimella alueella nouse helposti liian korkeaksi, jolloin ruokintaa ei tarvitse rajoittaa. (Kankainen ym., 2014b.)

### 1.3.3. Talvivarastointi maa-altaissa

Talvivarastointi maa-altaissa voi tapahtua joko merivettä tai makeita pintavesiä hyödyntäen riippuen saatavilla olevista vesitysmahdollisuuksista. Altaat voisivat toimia läpivirtausperiaatteella, sillä kalaa on tarkoitus vain säilöä eikä lisäkasvua tavoitella, jolloin ruokintamäärät ja näin ollen ravinnepäästöt ovat pieniä. Läpivirtausperiaatteella toimivien maa-aldaiden etuna on myös se, että niitä voitaisiin käyttää säilytyksen lisäksi myös raikastusaltaina. Maa-altaat voidaan rakentaa esimerkiksi betonielementeistä.

Talviaikaan olosuhteet säilytykselle ovat yleisesti ottaen suotuisat. Veden lämpötila on alhainen, jolloin siihen on mahdollista liueta enemmän hapetta ja lisähapetusta ei välttämättä kaikkialla tarvita. Varaus lisähapetukselle on kuitenkin oltava. Murtovetä käytettäessä vedenlaatu on yleensä parempi talvella, jolloin vedessä leijailevien pienpartikkelien määrä on pienempi. Tällöin putkien tukkeutuminen tuloveden mukana tulevasta kiintoaineesta pienenee. Toisaalta makeita pintavesiä käytettäessä voi kevättulvien mukana tulla kiintoainetta tai erittäin kylmää vettä, jota joudutaan jollain tavalla käsittelemään ennen sen johtamista altaisiin.

Kasvatustiheyksistä on säädöksiä vain kalojen luomutuotantoon. Niinpä maa-allasvarastoinnin maksimikalatiheys määräytyy monesta tekijästä. Kirjoloihen varastoinnin osalta ratkaisevina muuttujina on veden laatu, lämpötila ja liuenneen hapen määrä. Lisäksi säilytettävän kalan koolla on merkitystä. Yhdessä aluehallintoviraston myöntämässä luvassa betonisten, tilavuudeltaan 2 500 m<sup>3</sup> maa-aldaiden, säilytyksen kalatiheydeksi on ilmoitettu 20 kg/m<sup>3</sup> (Juntunen & Haurinen, 2017). Maa-aldaiden veden ollessa viileää ja hapekasta, voisi kalatiheys varmasti olla tätäkin suurempi, etenkin kun kaloja ei ruokita kasvua tavoitellen.

Maa-aldaiden sijainnin olisi hyvä olla mahdollisimman lähellä perkaamaa, jolloin teuraskalaa ei tarvitse kuljettaa pitkiä matkoja. Aldaiden vesitystä suunniteltaessa on hyvä huomioida hapetuksen lisäksi myös esimerkiksi tuloveden kiintoaine sekä mahdollinen veden jäätyminen rakenteisiin tukkeutumien välttämiseksi.

### 1.3.4. Varastoinnin erikoisratkaisut

Verkkoaltaissa tai maalla olevissa altaissa tapahtuvan talvisäilytyksen lisäksi on olemassa vielä muutama erikoisratkaisu kalojen talvisäilytyksen ja varastointiin. Markkinoille on viimeisten vuosien aikana ilmaantunut upotettavia kasvatuskehikoita, joiden soveltuvuutta Suomen oloihin kasvatukseen ja talvisäilytyksen osalta selvitetään aluehallintoviraston myöntämän koeluvan turvin vuosien 2019-2022 aikana Luonnonvarakeskuksen toimesta (Helin & Salonen, 2019). Upotettavan kasvatuskehikon tarkoituksena on tarvittaessa antaa tuotantolaitokselle mahdollisuus suojautua ankaria luonnonoloja vastaan upottamalla laitos esimerkiksi ennen kovan myrskyn tuloa. Samoin upotettavasta kasvatuskehikosta haetaan ratkaisua avomerilaitoksen talvisäilytykseen, jotta kasvatuskehikoita ei tarvitsisi hinata pois tuotantoalueelta keväisin ja syksyisin, mikä toisi merkittäviä aikasäästöjä ja näin pidentäisi kalan kasvatuskautta.



Toinen erikoisratkaisu on umpinaisen/puolisuljetun merikasvatusaltaan (engl. *semi-closed containment system, S-CCS*) hyödyntäminen kasvatuksessa tai talvisäilytyksessä. Norjassa on menossa monta eri projektia puolisoljettujen merikasvatusaltilaiden ympärillä, joiden ensisijainen tarkoitus on palvella poikastuotannossa. Norjassa suunnitteilla olevien puolisoljettujen kasvatusjärjestelmien kokoluokka on Suomen mittakaavaan liian suuri, eivätkä ne sellaisina sovellu vielä Suomen oloihin. Lisäksi puolisoljettujen kasvatusjärjestelmien kehitystyön tarkoituksena on ensisijaisesti torjua lohitäitä, eikä esimerkiksi vähentää mereen päätyviä päästöjä, joka Suomessa olisi puolisoljettujen kasvatusjärjestelmien etu.

Puolisuljetun kasvatusjärjestelmän etu voisi Suomessa kuitenkin liittyä myös kalojen säilytykseen, jolloin rannan tuntumassa olevasta puolisoljetusta rakennelmasta voitaisiin pumpata lietevedettä käsiteltäväksi maalle. Tämä pienentäisi erityisesti fosforikuormitusta. Puolisuljetut kasvatusjärjestelmät ovat tällä hetkellä vielä uutta tekniikkaa ja niiden kustannukset eivät ole vielä täysin tiedossa. Norjassa testikäytössä olevat rakenteet ovat kuitenkin maksaneet useita miljoonia euroja. (Lindberg-Lumme, 2019.) Korkeat investointikustannukset selittävät myös rakenteiden suurta kokoa, sillä suuren rakenteen materiaalikustannukset suhteessa kasvatustilavuuteen alenevat tilavuuden kasvaessa.

## 2. Tuotannosuunnittelussa huomioitavat tekijät

### 2.1. Kiertovesikasvatuksen haasteet

Kiinnostus kierto-vesikasvatuksen ympärillä on lisääntynyt maailmanlaajuisesti viime vuosien aikana ja aiheen tutkimus on lisääntynyt merkittävästi 2000-luvulla. Tutkimusta on tehty erityisesti veden laatuun, ravinteiden poistoon, eri lajien viljelyyn, kalatautien hoitoon sekä rehutehokkuutteen liittyen. Kiertovesilaitoksen operoinnin haasteista on kuitenkin vain vähän julkaistua tutkimusta. Kiertovesilaitoksen operoinnin haasteista on mainintoja kalaviljelyalan raporteissa ja uutisoinnissa, mutta ainoa vertaisarvioitu julkaisu on Badiolan ym. (2012) ilmestynyt kyselytutkimus, jossa haastateltiin kierto-vesikasvatuksen parissa työskenteleviä laitosoperoijia, laitevalmistajia, konsultteja sekä tutkijoita (Espinal & Matulić, 2019).

Kiertovesikasvatuksen haasteet voidaan luokitella talouteen, tuotantoon, tekniikkaan ja tietoon liittyviksi (Taulukko 2).

**Taulukko 2.** Joitain kirjallisuudesta tunnistettuja kierto-vesikasvatukseen liittyviä haasteita.

TALOUS	TUOTANTO
Alkuinvestointien ja käyttökustannusten korkea hinta sekä epävarmuus <sup>2,3,4,5,7</sup>	Tilaaajan ja laitetoimittajan heikko kommunikointi <sup>1,5,6,8</sup>
Liian optimistiset tuotantoennusteet <sup>1,2,3,5,6</sup>	Laitteiston huolto / huollettavuus <sup>1,5,8</sup>
Rahoituksen turvaaminen <sup>3,5,7</sup>	Heikko asiakastuki <sup>1,2</sup>
Pitkä investoinnin takaisinmaksuaika <sup>1,2</sup>	Makuvirheet <sup>1,2,5</sup>
	Tuotannon skaalaus <sup>1,2,3,4,5</sup>
TEKNIikka	TIETO
Alkuperäisen laitossuunnitelman puutteet / toimimattomuus <sup>1,2,5,7</sup>	Puutteellinen koulutus alalle <sup>1,2,8</sup>
Laittevat ja varajärjestelmien puutteet <sup>1,4,5,7</sup>	Osaava työvoima <sup>1,2,3,4,5,6,8</sup>
Sähkönkulutus <sup>1,2,4,5,7</sup>	Tiedonpuute / tiedon jakaminen <sup>1,2,3,4,5</sup>
Laitoksen kokonaisuuden hahmottaminen <sup>1,3</sup>	
Järjestelmän joustamattomuus <sup>5</sup>	

<sup>1</sup>Badiola ym., 2012;

<sup>2</sup>Bostock ym., 2018;

<sup>3</sup>Bjørndal & Tusvik, 2017

<sup>4</sup>Espinal & Matulić, 2019;

<sup>5</sup>Jeffery ym., 2011

<sup>6</sup>Murray ym., 2014

<sup>7</sup>O'Shea ym., 2019

<sup>8</sup>Summerfelt & Terjesen, 2019

Useimmin esille tullut ongelma kierto-vesikasvatukseen liittyen on ongelmat osaavan työvoiman saamisessa, joka osittain selittyy alan tuoreudella sekä vähäisillä alan koulutusmahdollisuuksilla. Yleisestikin maailmalla on vain erittäin pieni määrä asiantuntijoita (mahdollisesti alle 100), joilla on vaadittava tieto suunnitella, rakentaa, huoltaa ja operoida menestyksekkästä kierto-vesiprojektista (Vinci 2017, viitattu lähteessä O'Shea ym., 2019). Opiskeltavan tiedon puute sekä haluttomuus tiedon jakamiseen on tunnistettuja haasteita. Usein voi olla, että omaa tietoa ei haluta jakaa, sillä se on hankittu yrityksen ja erehdyksen kautta, jolloin mahdollisille kilpailijoille ei haluta tarjota tätä tietoa ilmaiseksi.

Akateemista kirjallisuutta on tarjolla rajoitetusti kaupallisen mittakaavan kierto-vesikasvatuksen kustannuksiin liittyen ja tutkimukset kierto-vesilaitoksen käytön aikaisista kustannuksista ovat olleet pitkälti oletuspohjaisia, eivät niinkään tietoon ja toteutuneisiin kustannuksiin perustuvia. Tästä syystä sekä laitosten erityispiirteistä johtuen eri taloudellisten tutkimusten vertaaminen on haastavaa, sillä

kustannukset riippuvat niin tuotannon koosta, viljeltävästä lajista, tuotantolaitoksen sijainnista sekä käytettävästä tekniikasta. (Bjørndal & Tusvik, 2017.) Kuitenkin sekä suomalaisten että mm. tanskalais-ten yritysten tilinpäätösten perusteella on helppo todeta, että kannattavuus on ollut erittäin huonoa. Huono kannattavuus liittyy ensisijaisesti korkeaan alkuinvestointiin sekä käyttökustannuksiin. Lisäksi huonoon kannattavuuteen on vaikuttanut liian optimistinen tuotantoennuste ja rahoituksen saamista on hankaloittanut alkuinvestoinnin pitkä takaisinmaksuaika. Tuotantoennusteiden ollessa ylioptimistisia ei virheille ole juurikaan varaa, vaikka esimerkiksi laiteviasta johtuneita ongelmia esiintyy laitoksilla tavallisesti. Laitevikoja tapahtuu yllättäen ilman, että niihin on voitu vaikuttaa, mutta myös huollon puutteesta tai laiminlyönnistä johtuvat viat ovat mahdollisia. Huollon laiminlyönti voi johtua osittain puutteellisesta suunnittelusta, joka ei huomio laitteiston huollettavuutta tehden siitä hyvin hankalaa (Jeffery ym., 2014).

Tuotanto ja tekniikka ovat linkittyneitä keskenään. Laitoksen tilaajan ja -toimittajan välinen heikko kommunikointi on monesti johtanut huonosti suunniteltuun ja heikosti toimivaan kiertovesilaitokseen, jolloin laitosta on jouduttu muuttamaan jälkikäteen tai asiakastukea ei ole saatu laitostoimittajalta toimituksen jälkeen (Badiola ym., 2012). Todellinen tuotanto on voinut olla hyvinkin erilaista suunniteltuun verrattuna, jolloin laitoksen vedenpuhdistus ei ole toiminut halutulla tavalla. Laitteet voivat olla alimitoitettuja tai laitosta ei ole jaoteltu erillisiin puhdistusyksiköihin, jolloin tuotannon joustavuus ja bioturvallisuus kärsivät. Useiden lähteiden maininnat energiatehokkuuden parantamisesta kertovat tarpeesta oikeanlaisiin ratkaisuihin laitossuunnittelussa sekä laitevalinnoissa. Suurien laitosten ongelmiksi koettiin useammassa lähteessä, että esimerkiksi vedenpuhdistusjärjestelmät on saatettu testata vain pienissä pilottihankkeissa, jolloin niiden toimivuudesta suurissa laitoksissa on vain vähän kokemusta.

Edellä mainittujen ongelmien lisäksi esimerkiksi kiertovesilaitoksissa lohta tuottavilla toimijoilla on ollut ongelmia varhaiskypsyymisen kanssa, poikasten hankinnassa sekä tuotantosuunnitelman paikansäilyttämättömyydessä. Tuotantotavoitteissa on päästy vain 60-80 % suunnitellusta ja syinä ovat olleet muun muassa ennakoitua hitaampi kasvu sekä pienempi maksimitiheys (Dinneen ym., 2016; Kiuru, 2017). Tuotannon kannalta myös riittävän veden saatavuuden ja hyvän laadun turvaaminen vuoden ympäri on ensisijaisen tärkeitä. Ongelmat vedenlaadussa (lämpötila, virtaama, patogeenit, liuenneet aineet yms.) heijastuvat kalojen kasvuun, kuolleisuuteen sekä makuun, joten ilman hyvää vettä ei toiminnalle ole edellytyksiä.

## 2.2. Siirtolämpötilojen tuomat haasteet

Kalankasvatuksessa, kuten eläintenhoitossa yleisestikin, on syytä pienentää stressitekijät minimiin. Stressi kuluttaa energiaa, lisää alttiutta sairauksille ja heikentää ruokahalua, jolloin kasvu hidastuu tai jopa pysähtyy kokonaan. Kalan hyvinvoinnin ja hyvän kasvun takaamiseksi onkin ensisijaisen tärkeää turvata mahdollisimman tasainen kasvatusympäristö. Kiertovesilaitoksessa ja meriympäristössä moni tekijä muuttuu. Veteen liuenneiden kaasujen pitoisuuksissa tulee muutoksia samoin kuin esimerkiksi suolapitoisuudessa, pH:ssa, lämpötilassa ja lämpötilan muutosnopeudessa sekä sameudessa. Myös pe-tojen läsnäolo, veden liikkuminen kasvatusaltaassa sekä valon määrä muuttuvat.

Vaihtolämpöisinä eläiminä kalojen ruumiinlämpö vastaa lähestulkoon ympäristön lämpötilaa ja kalojen aineenvaihdunta sekä immuunijärjestelmän toiminta ovat vahvasti sidoksissa veden lämpötilaan. Kasvun kannalta, kirjoloihen optimi lämpötila on noin 12-16 °C, vaikkakin kala selviää vedessä, jonka lämpötila on noin 0-27 °C (Raisioaqua, 2018; Cowx, 2005). Kirjolohesta on olemassa myös korkeita lämpötiloja sietäviä jalostettuja kantoja, joiden letaali maksimilämpötila on jopa 31 °C (Hartman & Porto, 2014). Tavallisesti, yli 20 °C lämpötiloissa lohikalojen ruokintaa joudutaan kuitenkin rajoittamaan tai lopettamaan kokonaan hapentarpeen minimoimiseksi (Rahkonen, 2012). Kirjoloihen alin läm-

pötilaraja on hieman 0-asteisen veden alapuolella. Fletcher ym. (1988) mukaan kalojen lämpötilansiedon alarajaan vaikuttaa niiden veriplasman jäätyislämpötila. Kalat voivat selvitä alle  $-1^{\circ}\text{C}$  asteisesta vedestä, jos siihen ei ole sekoittunut jääkiteitä ja jääkiteiden läsnä ollessa esimerkiksi kirjolohi selviää alijäähtyneestä vedestä  $-0,75^{\circ}\text{C}$  lämpötilaan asti (Scholander ym., 1957; Fletcher ym., 1988). Jääkiteitä voi päätyä syvempiin vesikerroksiin esimerkiksi syysmyrskyjen yhteydessä, jolloin kova tuuli sekoittaa veden pinnalle syntyneet jääkiteet vesipatsaaseen. Tällöin veden seassa olevat terävät ”jäänulat” voivat tarttua kalan kiduksiin tukehduttaen kalan.

Lämpötilan muutoksen tulee olla hidasta. Svobodová ym. (1993) mukaan kylmään veteen sopeutuvilla kaloilla lämpötilashokki tapahtuu äkillisen lämpötilamuutoksen ollessa  $8^{\circ}\text{C}$ . Pienillä kalanpoikasilla ongelmia voi ilmetä jo  $1,5\text{--}3^{\circ}\text{C}$  suuruisilla lämpötilan muutoksilla. Mikäli kalaa on ruokittu ja se siirretään liian kylmään veteen voi kalan ruoansulatus hidastua merkittävästi tai pysähtyä. Tällöin riskinä on, että kalan ruoansulatuskanavaan jää sulamatonta tai osittain sulanut ruokaa, joka alkaa tuottaa kaasuja. Kaasunmuodostuksen takia kalat voivat olla turvonneita, niiden tasapaino voi häiriintyä ja pahimmassa tapauksessa kalat lopulta kuolevat.

Kirjolohen lämmönvaihtelun sietokykyä on tutkittu jonkin verran. Bylundin ja Fagerholmin (1985) mukaan, kirjolohi kestää  $5\text{--}6^{\circ}\text{C}$ :n suuruisia muutoksia yli tai alle sen lämpötilan, johon se on sillä hetkellä sopeutunut. Finstad ym. (1988) taas totesivat kirjolohen ( $40\text{--}180\text{ g.}$ ) kestävän hyvin siirron makeasta  $+8^{\circ}\text{C}$  vedestä  $+1^{\circ}\text{C}$  makeaan veteen. Onnistuneen siirron takaamiseksi on kuitenkin suositeltavaa tasata siirron lämpötilaeroa sen ollessa yli 4 astetta. Alle  $+5^{\circ}\text{C}$  ja yli  $15^{\circ}\text{C}$  lämpötiloissa jo 2 asteen lämpötilaero on syytä tasata. Lämpötilan tasausnopeus tulisi olla enintään 4 astetta tunnissa. (Salminen & Böhling, 2002; Pohjois-Karjalan ELY-keskus, 2008.)

Kalankasvatukseen liittyen kirjallisuudesta ei löydy suosituksia kalojen siirtolämpötiloihin. Kalojen velvoiteistutuksille sen sijaan löytyy suosituslämpötilat. Kalojen istuttaminen ja käsittely tulisi suorittaa lämpötilassa, johon ne ovat sopeutuneet ja lähtökohtaisesti kalat kestävät käsittelyä paremmin viileässä kuin lämpimässä vedessä. Kaloja voidaan käsitellä lähes 0-asteisessa vedessä, kunhan vesi ei ole alijäähtynyt ja esimerkiksi taimenella käsittelyä  $18^{\circ}\text{C}$  pidetään kokemukseen perustuvana ylärajana. (Muhonen ym., 2003.) Alle  $5^{\circ}\text{C}$  lämpötilaan siirrettäessä on syytä huomioida, että kirjolohilla voi esiintyä ns. kylkiuintia (engl. swimbladder stress syndrome). Kala ei tällöin pysty säätämään kaasun määrää uimarakossa, joka voi johtua uimarakon ja ruokatorven välisen tiehyen kasaan painumisesta. Täyttää syytä kylkiuinnille ei varmuudella tunneta, mutta oireen ajatellaan liittyvän liialliseen rasvoittumiseen. (Rahkonen, 2012.)

Kirjolohella haudonnan on tapahduttava makeassa vedessä. Poikasen saavutettua riittävä koko rokotamista varten, voidaan kirjolohi rokotuksen ja rokotteen vasteajan saavuttamisen jälkeen siirtää meriveteen. Suomen rannikolla suolapitoisuus on noin 7 ‰ Saaristomerellä ja lähes makeaa Perämeren pohjoisimmissa osissa. Tästä syystä Suomessa kirjolohenpoikasen siirtäminen merikasvatukseen makeasta vedestä onnistuu ilman erillistä sopeuttamisjaksoa. Suomen oloa korkeammassa suolapitoisuudessa tilanne on kuitenkin toinen. Tutkimusten mukaan suora siirto makeasta vedestä meriveteen onnistuu kirjolohen poikasella noin 26 ‰ suolapitoisuuteen asti ilman, että kalan osmoregulaatio häiriintyy ja kala menehtyy (Jackson, 1981; Finstad ym., 1988; Kaneko ym., 2019). Jos kala joutuu sopeutumaan kuitenkin samanaikaisesti niin kylmään veteen kuin äkilliseen suolapitoisuuden muutokseen voi siitä aiheutua häiriöitä kalan suolatasapainon ylläpitoon. Finstad ym. (1988) huomasivat, että kun kirjolohia siirrettiin  $+8^{\circ}\text{C}$  makeasta vedestä  $+1^{\circ}\text{C}$  suolaiseen (26 ‰) veteen, menehtyivät kaikki kirjolohen poikaset muutamassa päivässä. Vaikka asiaa ei ole sen tarkemmin tutkittu, on Suomenkin oloissa mahdollista, että mikäli kirjolohta siirretään lämpimästä vedestä ilman asianmukaista sopeuttamista kylmään meriveteen, voi kalan osmoregulaatiossa tapahtua häiriöitä.

Kalan koolla on merkitystä ympäristöolojen muutoksien sietokyvyssä. Lähtökohtaisesti mitä aiempi kehitysvaihe on kyseessä, sitä herkempi kala on muutoksille. Toisin sanoen isompi kala sietää ulkoista muutosta paremmin kuin pieni poikanen. Kalan parempi sietokyky ulkoisia tekijöitä kohtaan on ollut osasyynä esimerkiksi Norjassa käytettävän tavallista kookkaamman post-smoltin yleistymiseen.

### 2.3. Kiertovesilaitoksissa raportoituja ongelmia

Kiertovesikasvatus tarjoaa perinteistä kalankasvatusta paremman suojan ulkoisia ympäristömuuttujia (esimerkiksi korkeat ja matalat lämpötilat, pedot kuten hylkeet ja haikarat, myrskyt) vastaan, minkä lisäksi kalojen kuolleisuuden pitäisi olla myös kohonneesta bioturvallisuudesta johtuen kiertoovesilaitoksessa pienempi (Bostock ym., 2018). Tuloveden ongelmien tai teknisen vian sattuessa kiertoovesilaitos on kuitenkin erittäin haavoittuvainen, minkä seurauksena saatetaan menettää suuriakin määriä kalaa todella lyhyessä ajassa. Katastrofaalisessa tilanteessa saatetaan menettää koko sen hetkinen tuotanto, jolla on erittäin merkittäviä taloudellisia vaikutuksia.

Koska kiertoovesilaitos kierrättää samaa vettä tyypillisesti 50-100 kertaa, on hyvä bioturvallisuus ehdottoman tärkeää onnistuneelle kiertoovesilaitoksen operoinnille. Mikäli jotain taudinaiheuttajaa esiintyy laitoksella, voi sen poistaminen olla vaikeaa, sillä patogeenejä saattaa esiintyä esimerkiksi biosuodattimen biofilmissä tai järjestelmän sellaisissa alueissa, joita on vaikea puhdistaa. Puhdistusta hankaloittaa lisäksi se, että esimerkiksi perusteellinen desinfiointi pysäyttää biosuodattimen toiminnan. Taudinaiheuttajat voivat päätyä laitokseen esimerkiksi mädin tai kalanpoikasen välityksellä taikka tuloveden mukana. Tautivapauden kannalta kalamateriaalin tuonti laitokselle on turvallisin mätinä. Mäti voidaan desinfioida, mikä tappaa mädin pinnalla olevat haitalliset pieneliöt. Jotkin taudinaiheuttajat elävät kuitenkin mädin sisällä, jolloin desinfiointikaan ei niihin tehoa. Tällaisia patogeenejä ovat esimerkiksi IPN-virus sekä BKD-bakteeri. Varmin tapa tällaisten tautien välttämiseksi on tutkittujen ja tautivapaiksi todettujen emokalojen mädin käyttäminen. (Hjeltnes ym., 2019; Rahkonen ym., 2012.)

Kalataudeista furunkuloosia on tavattu Tanskassa ja yersinioosia Pohjois- sekä Keski-Norjassa. Etenkin yersinioosi on toistuvasti aiheuttanut vakavia ongelmia ja korkeaa kuolleisuutta Norjassa. Lisäksi esimerkiksi ISA-virusta on tavattu niin Norjassa kuin Kanadassakin. Tautien lisäksi suolaista vettä käyttävillä kiertoovesilaitoksilla on ollut ongelmia rikkivedyn (H<sub>2</sub>S) aiheuttamien akuuttien myrkytysten kanssa. (Hjeltnes ym., 2019; Woodbury, 2018.)

On hyvä tiedostaa, että kiertoovesilaitoksessa on riskejä, joita ei aina voida täysin ennaltaehkäistä. Laitosta suunniteltaessa näitä riskejä voidaan kuitenkin pienentää oikeanlaisella suunnittelulla ja varajärjestelmillä. Laittevirian sattuessa etenkin hapekkaan veden turvaaminen kasvatusaltaissa on ensisijaisen tärkeää. Kalatautien leviämisen estämiseksi on olennaista, että omavalvonta toimii: laitos on siisti, toiminta on jaettu erillisiin yksiköihin ja sisäinen kala- ja mätiliikenne toteutetaan huolellisesti (Rahkonen ym., 2012). Viimeisten vuosien aikana kiertoovesilaitoksissa raportoidut kalakuolemat ovat liittyneet laitevikoihin, huollon tai puhdistuksen puutteeseen, huonoon tuloveden laatuun tai kalatauteihin (Taulukko 3). Esitettyjen ongelmien lisäksi joillain kiertoovesilaitoksilla on ollut ongelmia myös kalojen raikastuksessa.

**Taulukko 3.** Dokumentoituja kalakuolemia kiertovesilaitoksissa (muokattu lähteestä Bostock ym., 2018)

Sijainti	Ongelma	Lähde
<b>Langsand Laks Atlantic Sapphire, Tanska</b>	Vuonna 2020 227 000 lohta kuoli jonkin tyyppiyhdisteen vuoksi. Vuonna 2017, 250 tonnia kalaa menehtyi rikkivedyn (H <sub>2</sub> S) aiheuttamaan akuuttiin myrkytykseen. H <sub>2</sub> S:n kertyminen aiheutui biosuodattimen hapettomista alueista. Vuonna 2012 ja 2014 tapauksia furunkuloosista, jonka seurauksena tuotanto ajettiin hetkittäin alas, laitos desinfioidiin ja tuloveden käsittelyyn tehtiin suuri investointi.	Mutter, 2020  Atlantic Sapphire, 2018 Rohaan, 2014
<b>Nova Scotia, Kanada</b>	600 000 lohenpoikasta jouduttiin teurastamaan, kun tarttuva lohen anemia, ISA-virus (engl. <i>infectious salmon anemia</i> ), havaittiin kahdella kiertovesilaitoksella.	Woodbury, 2018
<b>Marine Harvest, Glenmoriston, Skotlanti</b>	500 000 noin 80 g lohenpoikasta kuoli hapenpuutteeseen laitteen takia.	Moore, 2018
<b>Marine Harvest, Nordheim, Norja</b>	10 000 kalanpoikasta kuoli muutaman päivän aikana, jonka seurauksena jäljellä olevat 140 000 noin 230 g kalanpoikasta lopetettiin. Kalakuolemiin johtaneita syitä ei pystytty tarkemmin määrittämään.	Olsen, 2017a
<b>Marine Harvest, Steinsvik, Norja</b>	Yli 730 000 noin 260 g kalanpoikasta kuoli ”vedenlaadullisiin ongelmiin tai akuuttiin kidustulehdukseen, joka oli seurausta edellä mainituista”.	Olsen, 2017b
<b>Niri, Machrihanish, Skotlanti</b>	26 000 lohta jouduttiin teurastamaan korjaustöiden aiheuttaman tuloveden saastumisen seurauksena.	Hjul, 2017
<b>FIFAX, Ahvenanmaa</b>	2017 IT-ongelma, jonka seurauksena hälytysjärjestelmä ei toiminut kunnolla. Ei tietoa tuotannonmenetyksen määrästä. Vuonna 2016 sähkökatkos, jonka seurauksena 50 tonnia kirjolohta kuoli. Hapenpuutteen aiheutti väärin asennettu sähkökytkin.	Lundberg, 2017 Bredenberg, 2016

## 2.4. Yhdistetyn kiertovesi- ja merikasvatuksen haasteet Suomessa

Yhdistetty kiertovesi ja merikasvatus nivoo yhteen kaksi erilaista tuotantomuotoa, joissa molemmissa on omat erityispiirteensä. Kun perinteinen verkkoallaskasvatus vaatii tietotaitoa esimerkiksi verkkokassien hinaukseen, -huoltoon ja -ankurointiin, petojen torjuntaan sekä merellä työskentelyyn on toiminta kiertovesilaitoksessa tyystin erilaista. Kiertovesilaitoksessa osaamista vaaditaan etenkin vesiparametrien mittaukseen ja säätämiseen sekä puhdistuslaitteiston toiminnan ylläpitoon liittyvissä tehtävissä. Koska kiertovesilaitoksessa on paljon tekniikkaa, vaatii laitoksen hahmottaminen hyvää perehtymistä kyseiseen laitoskokonaisuuteen.

Yhdistetystä kiertovesi- ja avomerikasvatuksesta ja etenkin sen haasteista julkaistu kirjallisuus on käytännössä olematonta. Suomen oloihin soveltuvan yhdistetyn kiertovesi- ja merikasvatuksen ymmärtämiseksi tätä selvitystä varten haastateltiin suomalaisia kiertovesiasiantuntijoita yksityiseltä ja julkiselta puolelta. Joukossa oli tutkijoita, yrittäjiä, konsultteja sekä koulutuksen parissa työskenteleviä henkilöitä. Haastatteluissa esille nousseet haasteet liittyivät niin kalojen biologiaan, tuotannon rytmittämiseen, vedenlaatuun, koulutukseen sekä tuotantotalouteen (Taulukko 4). Haastateltavien näkemykset yhdistetyn meri-kiertovesikasvatuksen haasteista olivat hyvin samanlaisia ja samat teemat nousivat

esille miltei jokaisessa haastattelussa. Eroavaisuuksia tuli jatkoselvitystarpeissa, joskin niissäkin toistuvat osittain samat näkemykset.

**Taulukko 4.** Haastatteluissa esille tulleita yhdistetyn meri-kiertovesikasvatuksen haasteita.

Poikasten tai mädin ympärivuotinen saatavuus	Hinta ja tuottavuus
Koulutus	Osaava työvoima
Kalabiomassan varastointi	Kalojen sopeuttaminen
Lupien saaminen ja pysyvyys	Talvisäilytys
Kalataudit	Tulovesi
Tuotannosuunnittelu	Kalojen biologia

Neljä teemaa nousi esille jokaisessa haastattelussa. Nämä olivat poikasten tai mädin ympärivuotinen saatavuus, tuottavuus, koulutus sekä kalan välivarastointi. Mikäli kiertovesilaitokseen otetaan mätiä tai kalanpoikasta vuoden ympäri, täytyy varmistua, että markkinoilla on tarjota materiaalia tällaiseen toimintaan. Suomessa mätiä tuotetaan joulukuusta kesäkuuhun, jolloin kotimaista mätiä ei käytännössä ole saatavilla heinäkuusta marraskuuhun. Silmäpisteasteen mätiä voidaan kuitenkin tuoda Suomen rajojen ulkopuolelta ja Euroopassa onkin muutama mädintuottaja, jotka tarjoavat kirjolohen silmäpistemätiä vuoden ympäri. Ympärivuotisen kiertovesituotannon edellytyksenä voidaankin pitää bioturvallisen mädin tai pienen poikasen toimitusvarmuutta.

Yhtenä kantavana teemana oli tuotannon kannattavuus. Yhdistetyn kasvatuksen tulee olla kannattavaa liiketoimintaa, jolloin poikasen loppuhinnalla ei ole niin suurta merkitystä, jos siitä voidaan tehdä lopulta kilpailukykyinen kala elintarvikemarkkinoille. Näin ollen kustannustehokkaan merikasvatuksen tuottoja voidaan jyvittää hautomon tai poikaslaitoksen tuotantovaiheisiin, jolloin esimerkiksi poikasbiomassan säilytyksen aiheuttamia lisäkustannuksia voidaan kattaa merikasvatuksen tuotoilla. Haastateltavat pohtivat myös millaisia aika- ja kustannussäästöjä voitaisiin saavuttaa, mikäli logistiikkaketjut poikaslaitokselta merelle olisivat lyhyet, eli poikanen saataisiin merikasvatukseen nopeasti ilman, että sitä tuotaisiin rekkakuljetuksina sisävesilaitoksilta.

Koulutuksen puute sekä pätevän työvoiman hankkiminen nähtiin yhtenä kiertovesikasvatuksen pulonkaulana. Tämä ei ole pelkästään Suomen ongelma vaan kasvava ongelma kaikkialla maailmassa. Monet nostivat esille, että Suomessa AMK-koulutuksen loppuminen on ollut alalle haitaksi, sillä kalakouluista valmistuvilla ei ole selkeää jatkokoulutusmahdollisuutta kalaviljelyn opintojen jatkamiseksi. Kiertovesikasvatuksen koulutuksen pitäisi olla monipuolista, jossa biologian lisäksi huomioitaisiin vesija prosessitekniikkaa, insinööritieteitä sekä taloutta. Opintojen tulisi olla joustavia ja yhteistyötä eri oppilaitosten kanssa olisi lisättävä. Yhtenä vaihtoehtona nähtiin myös pohjoismaisen yhteistyön lisäämisessä. Monet muistuttivat, että nykyiset toimijat ovat lähestulkoon kaikki itseoppineita ja monesti osaaminen on hankittu kantapään kautta. Opintojen lisäksi painotettiin työssäoppimisen tärkeyttä, sillä yksikään laitos ei ole samanlainen, jolloin laitoksen itsenäinen pyörittäminen vaatii opastusta. Yksi haastateltava totesi, että koulutusta olisi hyvä järjestää myös nykyisille kiertovesikasvatuksen parissa työskenteleville ja alalle olisi muutenkin hyväksi yhteistyön lisääminen.

Tuotantotapojen yhdistämisen ehkä isoimpana haasteena nähtiin kalabiomassojen hallinta, koska kiertovesikasvatuksen ja merikasvatuksen tuotantorytmit eroavat toisistaan merkittävästi. Kiertovesilaitoksessa tuotanto pyritään pitämään suhteellisen tasaisena, kun taas merikasvatuksen tuotantorytmi on vuodenaikoihin sidottua. Jokainen haastateltava nosti esille kiertovesilaitoksesta valmistuvan kalan varastoinnin ennen merelle siirtoa. Kelirikko aikaan kalaa ei voida viedä merelle verkkoallassäilytykseen, jolloin säilytyksen on ainakin osittain tapahduttava maa-altaissa. Maa-allassäilytyksen haasteiksi nostettiin esille kevättulvien vaikutus vedenlaatuun, mikäli vesityksessä käytetään pintavesiä. Kesällä

ongelmaksi voi taas muodostua kiintoaineen määrä tulovedessä. Talvella haasteena taas voi olla alijäähtynyt vesi. Talvivarastointi tunnistettiin myös suurten avomerilaitosten tuotannon pullonkaulaksi. Luvanhakuprosessissa nimenomaan talvisäilytyksestä on tullut valituksia ja suuren biomassan talvisäilytys voi tuleville avomerilaitoksille olla hankalasti järjestettävissä.

Säilytykseen liittyy vahvasti myös kalan sopeuttaminen kiertovesilaitoksesta merelle siirtoa varten. Mikäli kalaa ei sopeuteta riittävästi, on riskinä, ettei kala lähde syömään halutulla tavalla merikasvatuksessa, jolloin kasvu jää suunniteltua vähäisemmäksi. Tällä olisi luonnollisesti erittäin suuri merkitys koko tuotannon kannattavuuteen. Yksikään haastateltavista ei osannut arvioida kuinka pitkä sopeuttamisjakson tulisi olla ja miten sopeuttamisessa tulisi huomioida sekä lämpötila että valon määrä. Lisäksi muutamissa haastatteluissa nähtiin riskinä, että kirjolohi saakin säilytyksessä jonkin signaalin, joka laukaisee kalassa mädintuotannon. Sopeuttamiseen liittyvät kysymykset olivat eniten esillä, kun haastateltavat miettivät jatkotutkimustarpeita.

Yhtä haastateltavaa lukuun ottamatta kaikki nostivat esille myös nykyisen lupakäytännön. Lupien hakeminen ja saaminen on pitkän lupaprosessin takana, jolloin esimerkiksi ulkopuolisen rahoituksen hankkiminen hankaloituu huomattavasti. Toiminnan edellytyksenä täytyisi myös olla, että saadun luvan pysyvyydestä ei tarvitsisi joutua olemaan huolissaan, mikäli lupaehdot täyttyvät. Toisin sanoen, luvanhaltijalla täytyisi olla edellytykset, että investointi maksaa itsensä takaisin luvan voimassaolon aikana. Haastatteluissa myös todettiin, että mikäli avomerituotannon kapasiteettia halutaan lisätä, täytyy poikastuotantoakin rannikolla kasvattaa. Tämä ei kuitenkaan poissulje sisämaassa kasvatetun poikasen tärkeyttä, jota jatkossakin tullaan tarvitsemaan.

Viimeisenä teemana, jota useat haastateltavat sivusivat, olivat kalaterveys ja -taudit. Alkupään tuotannon täytyy olla puhdasta, sillä häiriöt alkupäässä heijastuvat voimakkaasti lopulliseen tuotantoon. Tautien osalta mäti arvioitiin olevan hiukan pientä kalanpoikasta turvallisempi, muttei kuitenkaan tautiriskitön. Osa taudeista voi tulla mätijyvän sisällä, jolloin pinnan desinfiointikaan ei auta taudin tuhoamisessa. Hautomon ja poikastuotannon tuloveden tulisi olla erittäin hyvälaatuista makeaa vettä. Murtovedessä kalatautiriskit ovat isommat, jolloin mitä lähempänä merta kiertovesilaitos on, sitä suurempi on kalataudin saamisen riski. Kalatautien liikkumisen osalta nostettiin esille, että Suomessa sama tontti on yksi epideeminen yksikkö. Tällä tarkoitettiin sitä, että vaikka laitoksella olisi makeaa vettä käyttävä poikaslaitos ja murto- tai pintavettä käyttävä maa-allasyksikkö, liikkuvat henkilökunta ja mahdollisesti osa työvälineistä saman tontin sisällä, jolloin tautienkin on mahdollista levitä erillisistä vesityksistä huolimatta.



### 3. Keskeiset RAS-laitoksen mitoitukseen ja tekniikkaan vaikuttavat tekijät

#### 3.1. Vedentarve

Kiertovesilaitoksen uuden veden tarve riippuu laitostekniikasta ja vedentarvetta voidaan pienentää tehostamalla vedenkäsittelyä. Intensiivisessä kierto-vesijärjestelmässä (uutta vettä noin 50-400 l/syötetty rehukilo) vedenpuhdistusprosessiin joudutaan tarvittaessa lisäämään esimerkiksi hienojakoisen kiintoaineen poisto sekä denitrifikaatio-prosessi, jotta veteen kertyvää nitraattia saadaan haihdutettua ilmaan vapaana typpinä (Heldbo, 2014; Olsen, n.d.). Mitä suuremmaksi veden kierrätysaste kasvaa, sitä mutkikkaammaksi (vrt. Taulukko 1) ja kalliimmaksi järjestelmä muodostuu (Summerfelt ym., 2001). Laitokseen tuleva vesi voidaan käyttää myös kalan raikastamiseen.

Hautomo sekä starttiruokintavaiheissa ravinnekuormitukset ovat pieniä ja veden laatuvaatimukset ovat korkeita. Tässä tuotantovaiheessa on syytä olla saatavilla erittäin hyvälaatuista makeaa vettä. Yleensä veden laadun kannalta sekä tautiriskin minimoimiseksi pohjavesi on paras vaihtoehto. Pohjavettä ei tarvitse desinfioida, mutta se saattaa sisältää esimerkiksi paljon liuennutta hiilidioksidia ja hyvin vähän happea, jolloin tulovesi on hyvä vähintäänkin ilmastaa ennen kiertojohtamista (Lekang, 2007; Timmons ym. 2018).

Kun kalat on rokotettu ja rokotteen vaste on kehittynyt, voidaan kalat siirtää altaisiin, jotka käyttävät puhdistettuja pintavesiä. RantaRAS konseptissa tämä tarkoittaa käytännössä meriveden käyttämistä laitoksen tuorevetenä. Mikäli pohjavettä ei ole riittävästi tarjolla sekä hautomo että jatkokasvatuksen tarpeisiin, täytyy molemmille tulovesille rakentaa omat pumppaamot. Ideaalitulanteessa pohjavettä on tarjolla riittämiin kaikkiin kasvatusvaiheisiin, jolloin yksi pumppaamo riittää.

Merivettä käyttävässä RantaRAS-laitoksessa tulovesi on syytä desinfioida ennen sen lisäämistä kierto-vesijärjestelmään. Tuoreveden desinfiointi voidaan suorittaa esimerkiksi johtamalla vesi hiekkasuodatuksen tai mikroosiviljönnin jälkeen UV-käsittelyyn (Aarnipuro, 2004; Bregnballe, 2015; Pattillo, 2014). Oikein mitoitetuna tuoreveden UV-käsittely tuhoaa patogeeneja erittäin tehokkaasti.

Perinteisessä kalanviljelyssä kirjolohen kasvatustiheys on noin 10-15 kg/m<sup>3</sup> ja hyvissä virtausolosuhteissa kalamäärä saattaa olla kasvukauden lopussa jopa 20-30 kg/m<sup>3</sup> (Partanen, 1998). Uoma-altaissa kalatiheys voi olla verkkokassiviljelyä hieman suurempi, noin 25 kg/m<sup>3</sup>. Kirjolohen kierto-vesilaitoksessa voidaan kalatiheydessä päästä yli 50 kg/m<sup>3</sup> ja kokemukset osoittavat, että yli 100 kg/m<sup>3</sup> kasvatustiheys on mahdollinen ilman, että kirjolohen kasvu tai kunto merkittävästi laskee. Sen sijaan sallittavat viiveajat sähkökatkoissa ja muissa häiriöissä ovat korkeissa tiheyksissä hyvin lyhyitä. Avomerikasvatuksen ja kierto-vesikasvatuksen vedentarvetta tuotettua kalakiloa kohden on turha vertailla, sillä merellä vesi vaihtuu riippuen vallitsevista virtauksista.

#### 3.2. Lämmön- ja energiantarve

Kalankasvatuksen energiantarve on vahvasti sidoksissa tuotantomuotoon. Perinteinen verkkoallaskasvatus ei vaadi paljoakaan energiaa, sillä tuotannon energiankulutus määräytyy pääasiassa polttoaineenkulutuksesta, kun kasvatusalaita hinataan tuotantopaikoille tai talvisäilytykseen, kaloja mennään ruokkimaan tai rakenteita huoltamaan (Leppänen ym., 2018). Perinteinen talvisäilytys verkkoaltaissa ei vaadi verkkoalaitaiden hinausta lukuun ottamatta energiaa. Sen sijaan kalojen talvivarastointi maataltaissa vaatii energiaa mahdollisen pumppauksen ja tuloveden lämmityksen takia. Tulovettä saataan joutua lämmittämään veden alijäähtymisen estämiseksi. Tuloveden lämmittäminen on paljon energiaa kuluttavaa ja näin ollen kallista. Leppänen ym. (2018) arvioivat, että 300 tonnin kirjolohen

maa-allastalvisäilytys Oulun korkeudella paikassa, jossa tulovettä joudutaan lämmittämään pääosin joului- ja tammikuussa, vaatii energiaa 0,39 GWh (virtaus 100 l/s; pumppaus 0,03 GWh; lämmitys 0,36 GWh). Näin ollen maa-allastalvisäilytys kuluttaa energiaa 1,3 kWh säilytettävää kalakiloa kohden. Energiankulutuksen pienentämiseksi olisikin ensisijaisen tärkeää, ettei tulovettä tarvitsisi lämmittää tai tuloveden määrää saataisiin pienennettyä, jolloin talvisäilytyksen vaatimaa lämmitysenergian määrää saataisiin pienennettyä.

Kiertovesikasvatus vaatii sähköenergiaa muun muassa veden pumppaamiseen, hapettamiseen, puhdistamiseen sekä lämmitykseen ja jäädytykseen. Luonnonvarakeskuksen kokoamien tietojen perusteella kiertovesikasvatettu kalakilo vaatii energiaa 3-5 kWh/tuotettu kalakilo (Leppänen ym., 2018). Kiertovesikasvatuksessa toteutuneista energiakulutuksista on olemassa valitettavan vähän lähdekirjallisuutta. Lohen tuottamiseen vaadittava energiatarve vaihtelee lähteestä riippuen 2-8 kWh/kg välillä, kun kirjolohella se on noin 2-5 kWh/kg välillä (Taulukko 5). Kirjolohen osalta on hyvä huomata, että Lasnerin ym. (2017) esittämät energiatarpeet perustuvat kolmen eri annoskokoista kalaa tuottavan kiertovesilaitoksen energiankulutuksiin.

**Taulukko 5.** Energiankulutus kalakiloa kohden lohelle ja kirjolohelle.

Viljeltävä laji	Tuotantomäärä, milj. kg	Loppupaino, kg	Energiantarve, kWh/kg	Lähde
Lohi	1,6-5	0,41-5,0	4-6	Bjørndal & Tusvik, 2017
Lohi	3,3 <sup>1</sup>	4-5	5,46	Liu ym., 2016
Lohi	0,3	2,5	8	Dinneen ym., 2016
Lohi	5	5	2 <sup>2</sup>	Warrer-Hansen, 2015
Kirjolohi	0,1	0,2-0,38	1,95 <sup>3</sup>	Lasner ym., 2017
Kirjolohi	0,27	0,2-0,38	3,15 <sup>3</sup>	Lasner ym., 2017
Kirjolohi	0,7	0,2-0,38	2,55 <sup>3</sup>	Lasner ym., 2017
Kirjolohi	1,3	0,6-3,2	2-3,4 <sup>4</sup>	Arvonen, 2017

<sup>1</sup>Perattu paino    <sup>2</sup>Laskettu lähdekirjallisuudesta    <sup>3</sup>Arvioitu lähdekirjallisuudesta    <sup>4</sup>Laskettu lähdekirjallisuudesta

Suomessa, yhdistetyn kiertovesi-avomerikasvatuksen energiantarvetta on arvioitu Luonnonvarakeskuksen SIBE-projektin tapaustutkimuksessa (Leppänen ym., 2018). Tapaustutkimuksessa arvioitiin kokonaisuutta, joka kiertovesilaitos, joka toimittaa 360 000 kg (keskipaino 500 g) kalanpoikasia jatkokasvatukseen merelle (lisäkasvu merellä 1 000 tonnia). Konseptin sähköenergiankulutus oli kokonaisuudessaan 2,0 GWh, jossa maa-allastalvisäilytyksen osuus oli 0,39 GWh, kiertovesilaitoksen 1,44 GWh ja perkaamon 0,16 GWh.

### 3.3. Ravinnekuormitus

Suomessa kalankasvatustoiminnan kannalta keskeisiä säädöksiä ovat ympäristönsuojelulaki sekä vesilaki (Ympäristöministeriö, 2013). Näistä etenkin ympäristölainsäädäntö vaikuttaa merkittävästi kalanviljelyyn. Ympäristönsuojelulain tarkoituksena on ”*ehkäistä ympäristön pilaantumista ja sen vaaraa, ehkäistä ja vähentää päästöjä sekä poistaa pilaantumisesta aiheutuvia haittoja ja torjua ympäristövahinkoja*” (Ympäristönsuojelulaki, 2014). Ympäristölainsäädäntö edellyttää parhaan käytökelpoisen tekniikan (BAT, Best Available Technique) ja ympäristön kannalta parhaan käytännön (BEP, Best Environmental Practice) periaatteita. Parhaalla käytökelpoisella tekniikalla tarkoitetaan ”*mahdollisimman tehokkaita ja kehittyneitä, teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisia tuotanto- ja puhdistusmenetelmiä, joilla voidaan ehkäistä toiminnan aiheuttama ympäristön pilaantuminen tai tehokkaimmin*”

vähentää sitä. Tekniikka on teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoista silloin, kun se on saatavissa käyttöön yleisesti ja sitä voidaan soveltaa asianomaisella toiminnan alalla kohtuullisin kustannuksin.” (Ympäristönsuojelulaki 5.7 §).

Kalankasvatuksen ympäristöohjeessa (Ympäristöministeriö, 2013) todetaan, että sisämaan kalankasvatukseen on mahdollista soveltaa BAT-periaatetta, kun verkkoallaskasvatuksen ympäristönsuojelua voidaan edistää vain BEP-periaatteen mukaisesti. Ravinteiden talteen ottamisen osalta verkkoallaskasvatukseen ei ole saatavilla teknisesti ja taloudellisesti kustannustehokasta menetelmää, joka on yksi BAT-periaatteen reunaehdoista. Verkkoallaskasvatuksen BEP-periaatteen mukainen toiminta yhdistelee eri toimia, kuten työmenetelmiä sekä raaka-aine- ja polttoainevalintoja. Sisämaan uusilla laitoksilla voidaan poistovettä puhdistaa, jolloin osa ravinteista saadaan talteen. Vaikka kiertovesilaitoksessa voidaan tuottaa kalaa merkittävästi pienemmällä ympäristöä kuormittavalla ravinnekuormituksella, ei kiertovesilaitosten osalta voida vielä puhua BAT-periaatteesta. Toiminnan kustannukset eivät ole osoittautuneet kohtuullisiksi ja näin ollen taloudellinen toteuttamiskelpoisuus ei välttämättä toteudu.

Kirjoloihen verkkoallaskasvatuksen aiheuttama ravinnekuormitus on tyypillisesti noin 5 g fosforia ja 40 g typpeä lisäkasvikiloa kohden (Ympäristöministeriö, 2013). Ravinnekuormitukseen vaikuttaa käytetävän rehun ravinnesisältö sekä saavutettu rehukerroin. Mikäli läpivirtauslaitoksessa ei ole poistoveden puhdistusta tai lietteen talteenottoa on ravinnekuormitus samaa luokkaa. Useissa kiertovesiviljelyn ympäristölupamääräyksissä on ollut maininta, että ”*ravinnekuormituksen ominaiskuormituksessa tulee ohjeellisesti pyrkiä saavuttamaan 1,5 g:n fosforipäästö ja 35 g:n typpipäästö tuotettua kalakiloa kohti*”. Kiertovesilaitoksen puhdistustekniikka vaikuttaa suuresti saavutettaviin ominaiskuormituksiin ja vaihteluväli laitosten välillä on suurta. Uusien kiertovesilaitosten osalta voidaan ravinnekuormitusta pienentää fosforin osalta jopa noin 90 % ja typen osalta noin 60-70 % perinteiseen kalanviljelyyn verrattuna (Taulukko 6). Osa Suomessa toimivista kiertovesilaitoksista käsittelee poistuvan veden omalla jätevedenpuhdistamolla, kun taas osa johtaa poistovedet kunnalliselle- tai teollisuuden jätevedenpuhdistamolle.

**Taulukko 6.** Eri kasvatusmenetelmien tyypilliset ravinnekuormitukset lisäkasvikiloa kohden sekä kiertovesiviljelyn mahdolliset ravinnereduktiot perinteiseen kasvatukseen verrattuna.

Viljelymuoto	Fosfori		Typpi	
	Päästö	Reduktio	Päästö	Reduktio
<b>Verkkoallas tai läpivirtaus ilman ravinteiden talteenottoa</b>	5 g/kg	-	40 g/kg	-
<b>Kiertovesi<sup>1</sup></b>	0,5-1,5 g/kg	70-90 %	10-30 g/kg	25-75 %

<sup>1</sup>Päästö- ja reduktioarvot Suomessa haettujen kalaviljelylaitosten ympäristölupahakemuksissa esitettyjen arvojen perusteella.

Kirjoloihen kasvatuksessa poikasvaiheen ravinnekuormitus suhteessa koko kasvatukseen on pieni. Aluksi biomassat ovat pieniä ja näin ollen suurin osa kokonaisravinnepäästöistä aiheutuu poikasvaiheen jälkeisessä merikasvatusvaiheessa. Kirjolohta kasvatettaessa 2 kg asti, on esimerkiksi ensimmäisen 500 g ravinnekuormitus typen ja fosforin osalta noin 22 % (Taulukko 7).

**Taulukko 7.** Verkkoallaskasvatetun kirjoloihen ravinnepäästöt, kun kala kasvatetaan 2 kg asti (muokattu lähteestä Ympäristöministeriö, 2013).

Kalan paino, g		Rehukerroin	Rehun kulutus, g	%-osuus koko rehunkäytöstä	Rehun ravinne- pitoisuus, g/kg rehua		Kasvatus- vaiheen ravinne- kuormitus, g		Kasvatus- vaiheen ravinne- kuormitus, g/kg lisäkasvua	
Aluksi	Lopuksi				Fosfori	Typpi	Fosfori	Typpi	Fosfori	Typpi
1	5	0,80	3	0,2 %	15	88	0,03	0,17	8,0	42,9
5	15	0,80	8	0,4 %	13	82	0,06	0,38	6,4	38,1
15	70	0,80	44	2,1 %	11	74	0,26	1,74	4,8	31,7
70	125	0,90	50	2,3 %	9	69	0,23	1,90	4,1	34,6
125	500	0,90	338	16 %	9	66	1,54	12,0	4,1	31,9
500	1000	1,05	525	25 %	8	59	2,20	17,2	4,4	34,5
1000	2000	1,15	1150	54 %	8	59	5,20	40,4	5,2	40,4
<b>Yhteensä:</b>		<b>1,06</b>	<b>2117</b>	<b>100 %</b>	-	-	<b>9,5</b>	<b>73,7</b>	<b>4,8</b>	<b>36,9</b>

Yhdistetyssä meri-kiertovesikasvatuksessa kirjolohta voitaisiin kasvattaa kiertovedessä esimerkiksi 500 g asti. Jos RantaRAS konseptin kiertovesilaitos saavuttaa fosforin osalta 90 % ja typen osalta 60 % reduktio pienenee koko kasvatusvaiheen päästöt poikasesta teuraskalaksi fosforin osalta noin 20 % ja typen osalta noin 13 % (Taulukko 8). Koko tuotantoketjun ravinteiden reduktion kannalta kiertovesikasvatetun poikasen loppukoolla on suurikin merkitys. Mitä suuremmaksi kirjolohti kasvatetaan kiertovedessä, sitä suurempi on ravinnepäästöjen kokonaisreduktio koko tuotantoketjussa.

**Taulukko 8.** 500 g asti kiertovedessä ja lopuksi verkkoaltaassa kasvatetun kirjoloihen ravinnepäästöt. Kiertovesikasvatuksessa fosforireduktio 90 % ja typpireduktio 60 %.

Kalan paino, g		Rehukerroin	Rehun kulutus, g	%-osuus koko rehunkäytöstä	Rehun ravinne- pitoisuus, g/kg rehua		Kasvatus- vaiheen ravinne- kuormitus, g		Kasvatus- vaiheen ravinne- kuormitus, g/kg lisäkasvua	
Aluksi	Lopuksi				Fosfori	Typpi	Fosfori	Typpi	Fosfori	Typpi
1	5	0,80	3	0,2 %	15	88	0,00	0,07	0,8	17,2
5	15	0,80	8	0,4 %	13	82	0,01	0,15	0,6	15,2
15	70	0,80	44	2,1 %	11	74	0,03	0,70	0,5	12,7
70	125	0,90	50	2,3 %	9	69	0,02	0,76	0,4	13,8
125	500	0,90	338	16 %	9	66	0,15	4,79	0,4	12,8
500	1000	1,05	525	25 %	8	59	2,20	17,2	4,4	34,5
1000	2000	1,15	1150	54 %	8	59	5,20	40,4	5,2	40,4
<b>Yhteensä:</b>		<b>1,06</b>	<b>2117</b>	<b>100 %</b>	-	-	<b>7,6</b>	<b>64,0</b>	<b>3,8</b>	<b>32,0</b>
<b>Verrattuna perinteiseen</b>			<b>100 %</b>	-	-	-	-	-	<b>80 %</b>	<b>87 %</b>

Typpireduktion kasvattaminen yli 60 % vaatii käytännössä poistuvan veden denitrifikaatiota, jota ei ole Suomen oloissa ja suuressa mittakaavassa tutkittu vielä paljoa. Kiertovesilaitoksen puhdistamolta poistuvan veden denitrifikaatio on vastikään otettu käyttöön ainakin Luonnonvarakeskuksen Laukaan kiertovesilaitoksella sekä Kankaanpään kiertovesilaitoksella. Laukaalle on rakennettu biosuodatuskenttä, jossa on denitrifikaation hoitavan hakereaktorin lisäksi kosteikko ja imeytyskenttä. Kankaanpäässä on käytössä hakereaktori.

Biosuodatuskentän tai hakepedin toimiessa suunnitellusti on vettä teoriassa mahdollista kierrättää suodatuksen jälkeen takaisin laitokselle, jolloin uuden veden tarve ja päästöt ympäristöön pienentyvät entisestään. Tällaisille puhdistustehoa nostaville sovelluksille voi kiertovesiviljelyssä olla tulevaisuudessa kysyntää, etenkin jos ympäristölupahakemukset edellyttävät suuria päästöreduktioita tai tuotantoa halutaan tehostaa nykyisen ympäristöluvan salliman ravinnekuormituksen puitteissa. Biosuodatuksen tai hakepedin toimivuudesta Suomen olosuhteissa on tällä hetkellä vain vähän kokemuksia ja esimerkiksi biosuodatuksen toimivuudesta talvella ei ole saatavilla kunnollista tietoa. Biosuodatusalueen vedenläpäisevyyden on pysyttävä talviolosuhteissa pakkasesta ja roudasta huolimatta riittävän hyvänä. Talvella on riskinä, että mikäli suodatin on täysin vedellä kyllästynyt, se voi jäätyä ja muodostaa läpäisemättömän routakerroksen. Tällöin läpivirtaus suodatusalueen läpi estyy kokonaan (Kasvio ym., 2016). Viimeisimmät mittaustulokset sekä Kankaanpään että Laukaan hakepedin typenpoiston tehokkuudesta ovat olleet hyvin rohkaisevia, joskin tarvitaan pidempää seuranta-reaktorien toiminnasta Suomen olosuhteissa.

## 4. Kiertovesikasvatuksen kustannukset

Vuonna 2016 Suomessa oli toiminnassa 7 kiertovesilaitosta. Kiertovesikasvatuksen pääoman omavaraisuusaste oli tuolloin 2 %, kun koko vesiviljelyn omavaraisuusaste oli 28 %. Omalla pääomalla rahoitetun omaisuuden osuus on siis todella pieni. Vaikka kiertovesikasvatuksen tuotot olivat vuonna 2016 4,6 miljoonaa euroa, oli nettotulos kuitenkin -4,9 miljoonaa euroa (Luonnonvarakeskus, 2019b). Yritysten välillä on suuriakin eroja, ja vuoden 2016 tulosta painaa tappiolliseksi etenkin yhden uuden kiertovesilaitoksen käynnistysvaiheen aikaiset kulut. Kuitenkaan uudemmatkaan tilinpäätöstiedot eivät näytä eri yritysten toiminnan kääntyneen kannattavaksi (Setälä ja Saarni 2020, julkaisematon). Suomessa muutama kiertovesilaitos on joutunut 2010-luvulla lopettamaan liiketoimintansa sen ollessa kannattamatonta. Konkurssiin hakeutuneiden laitosten ongelmina ovat olleet tuloveden laatuongelmat, ongelmat lämmön- ja sähköntuotannossa sekä erinäiset pääomasijoittajan sitouttamiseen liittyvät rahoitusvaikeudet (Hyttinen, 2016; Ojala, 2018; Rummukainen, 2015).

Vuoden 2016 jälkeen on yksi uusi kiertovesilaitos aloittanut tuotannon. Tällä hetkellä Suomen kolme suurinta kiertovesilaitosta ovat Fifax (ilmoitettu tuotantovalmius noin 3 milj.kg), Finnforell (noin 1,3 milj. kg) sekä Sybimar (noin 0,6 milj. kg). Kesällä 2019 tulleen tiedotteen mukaan Heinolaan ollaan suunnittelemassa Manner-Suomen suurinta kiertovesilaitosta, jonka tuotantokapasiteetti olisi noin 3 miljoonaa kiloa vuodessa (Enlund & Niemi, 2019). Lisäksi selvityksiä kiertovesiviljelyn aloittamisesta tehdään ainakin Kaskisissa sekä Ikaalisissa (Joki, 2019; Ketonen, 2020). Uusien laitosten koko on kasvamassa, mikä on yleinen suunta myös maailmalla. Suuremmalla tuotantomäärällä voidaan paremmin kompensoida laitoksen alkuinvestointeja.

Lähteistä riippuen on arvioitu, että esimerkiksi lohien ruokakalatuotannon osalta taloudellisesti järkevän kiertovesilaitoksen vuosituotanto tulisi olla vähintään 2,5-5 miljoonaa kiloa tai jopa 10 miljoonaa kiloa (Bostock ym., 2018; O'Shea ym., 2019). Kannattava tuotantokoko riippuu tietysti monesta muuttujasta, joita ovat esimerkiksi lähimarkkinoiden koko, viljeltävä kalalaji, vallitseva lainsäädäntö ja tuotantopanosten kuten investointien, työvoiman, energian ja veden kustannukset. Näin ollen esimerkiksi Norjassa, muualla Euroopassa tai Pohjois-Amerikoissa rakennettuja kiertovesilaitoksia ei voida suoraan verrata Suomen oloihin.

### 4.1. Käyttökustannukset

Kiertovesilaitoksen käyttökustannukset koostuvat mm. sähköstä, rehusta, mädin tai poikasen hinnasta, hapestä ja muista kemikaaleista, henkilöstökuluista sekä laitteiden huollosta. Käyttökustannusten suuruuteen vaikuttaa merkittävästi esimerkiksi käytettävä tekniikka, tuoreen veden tarve ja vedenpuhdistuksen aste, kasvatettava kalalaji, viljelymaa sekä vuosituotannon koko. Näin ollen käyttökustannusten vertailu eri tuotantolaitosten välillä on vain suuntaa antavaa eikä näistä voida vetää suoria johtopäätöksiä käyttökustannuksista. Kiertovesilaitoksissa kasvatettujen lohikalajien tuotantokustannuksista on jonkin verran julkaistua tietoa. Tietoa on etenkin lohien kiertovesiviljelystä, mutta myös muutamia julkaisuja löytyy kirjolohen osalta. Kirjallisuudessa esitetyt lohien kiertovesilaitokset ovat suuria yli 2,000 tonnin vuosituotannon laitoksia. Pääsääntöisesti lohien loppupainoksi on tavoiteltu samaa kuin verkkoallaskasvatetulle lohelle, noin 4-5 kg. Rehun vaikutus kasvatuskustannuksiin on merkittävin, jonka jälkeen tuotantokustannuksia nostavat etenkin kasvatuksen vaatima sähköenergia, henkilöstökulut sekä investointien aiheuttamat kustannukset (Taulukko 9).

**Taulukko 9.** Kiertovesikasvatetun lohien tuotantokustannusten hinnat tuotettua lohikiloa kohden sekä tuotantokustannusten prosentuaalinen osuus koko kustannuksesta USA:ssa, Irlannissa ja Norjassa.

	<b>Summerfelt ym., 2013</b>	<b>Warrer-Hansen, 2015</b>	<b>Liu ym., 2016</b>	<b>Bjørndal &amp; Tusvik, 2017</b>
<b>Laji</b>	Lohi	Lohi	Lohi	Lohi
<b>Vuosituotanto, milj. kg</b>	3,30	5,00	3,30	5,00
<b>Loppupaino, kg</b>	4,6	5	4-5	5
<b>Tuotantomaa</b>	USA	Irlanti	USA	Norja
<b>Kustannuserittely</b>				
<b>Rehu</b>	2,08 € / 59 %	1,52 € / 42 %	1,71 € / 34 %	1,58 € / 42 %
<b>Mäti / poikaset</b>	0,1 € / 3 %	0,26 € / 7 %	0,11 € / 2 %	0,03 € / 1 %
<b>Sähköenergia</b>	0,25 € / 7 %	0,24 € / 7 %	0,3 € / 6 %	-
<b>Henkilöstö</b>	0,28 € / 8 %	0,08 € / 2 %	0,47 € / 9 %	0,23 € / 6 %
<b>Happi</b>	0,16 € / 5 %	0,08 € / 2 %	0,13 € / 3 %	-
<b>Kemikaalit</b>	-	0,1 € / 3 %	0,08 € / 2 %	-
<b>Kalojen terveys</b>	-	0,03 € / 1 %	-	0,04 € / 1 %
<b>Vakuutus</b>	-	0,07 € / 2 %	0,16 € / 3 %	0,08 € / 2 %
<b>Huolto</b>	-	0,02 € / 1 %	0,42 € / 8 %	-
<b>Hallinto</b>	0,08 € / 2 %	0,05 € / 1 %	-	0,08 € / 2 %
<b>Muut</b>	-	0,1 € / 3 %	0,55 € / 11 %	1,11 € / 29 %
<b>Poisto</b>	0,57 € / 16 %	0,44 € / 12 %	0,52 € / 10 %	0,65 € / 17 %
<b>Korot</b>	-	0,62 € / 17 %	0,58 € / 12 %	-
<b>Tuotantokustannus, €/kg</b>	<b>3,52 €<sup>1</sup> / 100 %</b>	<b>3,61 € / 100 %</b>	<b>5,04 €<sup>1</sup> / 100 %</b>	<b>3,79 €<sup>2</sup> / 100 %</b>

<sup>1</sup>Valuutta muutettu alkuperäisestä lähteestä. Muuntokertoimena on käytetty: \$1 = 0,899195669 €. Muutoksessa ei ole huomioitu valuuttojen inflaatiota.

<sup>2</sup>Valuutta muutettu alkuperäisestä lähteestä. Muuntokertoimena on käytetty: 1 NOK = 0,0981778918 €. Muutoksessa ei ole huomioitu valuuttojen inflaatiota.

Toteutuneista kirjolohien kiertovesikasvatuksen tuotantokustannuksista ei ole tarjolla paljoakaan julkaistua tietoa. Kirjallisuuden perusteella kiertovesikasvatetun kirjolohien tuotantokustannusten hinnat vaihtelevat suuresti (2,36-4,48 €/tuotettu kalakilo). Tuotantokustannuksiin vaikuttaa useampi tekijä kuten esimerkiksi lopullinen teuraskoko, kokonaisvuosituotanto, tuotantomaa sekä kiertovesilaitoksen tekniset ratkaisut. Käyttökustannusten suurin menoerä on rehu, joka kattaa noin 30-45 % käyttökustannuksista. Tämän jälkeen merkittävimmät kustannukset muodostuvat mädistä/poikasista, sähköstä sekä henkilöstöstä (Taulukko 10). Investointien poistot vaikuttavat merkittävästi tuotantokustannuksiin, mutta poiston suuruus on sidoksissa investointikustannuksiin, jolloin sen vaikutus tuotantoon on aina tapauskohtaista.

**Taulukko 10.** Kiertovesikasvatetun kirjolohen tuotantokustannusten hinnat tuotettua kirjolohikiloa kohden sekä tuotantokustannusten prosentuaalinen osuus koko kustannuksesta Saksassa, Tanskassa ja Suomessa.

Lähde	Lasner ym., 2017	Lasner ym., 2017	Lasner ym., 2017	Kankainen ym., 2014a
<b>Laji</b>	Kirjolohi	Kirjolohi	Kirjolohi	Kirjolohi
<b>Vuosituotanto, milj. kg</b>	0,10	0,27	0,70	0,43
<b>Loppupaino, kg</b>	0,2-0,38	0,2-0,38	0,2-0,38	0,5
<b>Tuotantomaa</b>	Saksa	Tanska	Tanska	Suomi
<b>Kustannuserittely</b>				
<b>Rehu</b>	1,32 € / 45%	1,03 € / 42%	1,03 € / 44%	1,41 € / 31%
<b>Mäti / poikaset</b>	0,33 € / 11%	0,41 € / 17%	0,41 € / 17%	0,74 € / 17%
<b>Sähköenergia</b>	0,35 € / 12%	0,31 € / 13%	0,24 € / 10%	0,2 € / 4%
<b>Henkilöstö</b>	0,03 € / 1%	0,14 € / 6%	0,16 € / 7%	0,57 € / 13%
<b>Happi</b>	-	-	-	0,01 € / 0%
<b>Kemikaalit</b>	-	-	-	0,1 € / 2%
<b>Kalojen terveys</b>	0,01 € / 0%	0,04 € / 2%	0,06 € / 3%	0,02 € / 0%
<b>Vakuutus</b>	-	-	-	0,2 € / 4%
<b>Huolto</b>	0,07 € / 2%	0,09 € / 4%	0,11 € / 5%	-
<b>Hallinto</b>	0,04 € / 1%	0,04 € / 2%	-	-
<b>Muut</b>	0,09 € / 3%	0,16 € / 7%	0,07 € / 3%	0,28 € / 6%
<b>Poisto</b>	0,69 € / 23%	0,12 € / 5%	0,17 € / 7%	0,76 € / 17%
<b>Korot</b>	0,02 € / 1%	0,1 € / 4%	0,11 € / 5%	0,19 € / 4%
<b>Tuotantokustannus, €/kg</b>	<b>2,95 € / 100 %</b>	<b>2,44 € / 100 %</b>	<b>2,36 € / 100 %</b>	<b>4,48 € / 100 %</b>

Kirjallisuudessa esitettyjen kirjolohen tuotantokustannusten välillä on suuria eroja, etenkin Suomen osalta. Suomen arvioiduista tuotantokustannuksista etenkin korkeampi rehukustannus, poikasen hinta, henkilöstökustannukset sekä investointien poistot nostavat kokonaiskustannuksia. Kankainen ym. (2014a) laskelmissa tuotannossa käytettiin 20 g poikasta, mikä selittää osaltaan korkeampaa poikashintaa ja tutkimuksessa todetaankin, että poikaskustannuksissa on säästövaraa, etenkin jos yrityksellä on omaa poikastuotantoa. Investointikustannusten osalta Suomen ilmasto-olosuhteet nostavat kustannuksia Tanskaan ja Saksaan verrattuna, sillä lämpöeristetyt hallit ovat esimerkiksi lumikuorman takia jyrkämpirakenteisia, lämmöneristettä on enemmän ja esimerkiksi routasuojaus nostaa maanrakennuskustannuksia. Rehun osalta rehunkulutuksessa ei välttämättä ole laitosten välillä suuriakaan eroja vaan erot saattavat selittyä kyseisen maan rehuhinnoilla.

Käyttökustannusten pienentämiseksi on tärkeätä, että kiertovesilaitos toimii suunnitellulla tavalla ja rehukerroin sekä sähkönkulutus saadaan pidettyä pienenä. Koska kiertovesilaitoksessa vettä kierrätetään jatkuvasti, tulisi laitoksen pumput valita mahdollisimman energiataloudellisiksi. Muita suunnitellussa huomioitavia asioita ovat esimerkiksi koko järjestelmän sisäiset pumppauskorkeudet sekä mahdollinen lämmön talteenotto eri vaiheissa. Talvisäilytyksen tapahtuessa maa-altaissa, olisi toivottavaa, ettei tulovettä jouduttaisi lämmittämään, jolloin energiakustannuksissa saavutetaan maa-allasäilytyksen osalta merkittäviä säästöjä.



## 4.2. Investointikustannukset

Kiertovesilaitosten investointikustannuksien yleistäminen on vaikeaa. Jokainen kierto-vesilaitos on oma kokonaisuutensa ja esimerkiksi vuosituotannon määrä, tuotantomuoto, tuloveden laatu ja määrä, laitokselta vaadittava puhdistustekniikka ja –tehokkuus sekä mahdolliset synergiaedut olemassa olevien teollisuudenalojen kanssa (synergiat energiatuotannon tai puhdistustekniikan hyödyntämisessä) vaikuttavat merkittävästi kierto-vesilaitoksen investointikustannuksiin.

Merkittävimmät investointikustannukset muodostuvat tuotantorakennuksesta, rakentamisesta ja projektinjohdosta, laitossuunnittelusta, laitteistosta, tontista, infrastruktuurista sekä vedensaannin järjestämisestä (Bjørndal & Tusvik, 2017). Muita investointikustannuksia syntyy viljely-, laboratorio- ja tutkimuslaitteistosta, kuljetuskalustosta, lupamaksuista, mahdollisesta ympäristövaikutusten arvioinnista, markkinoinnista, koulutuksesta sekä rekrytoinnista.

Kirjallisuus kierto-vesilaitoksen investointikustannuksista on hyvin rajattua. Mahdollisesti kattavin kirjallinen tuotos on Robinson & Wrightin (2013) raportti kahden kanadalaisen kierto-vesilaitoksen, 'N̄amgis First Nation (Kuterra LP) ja Taste of B.C. (ToBC), investointikustannuksista. Kuterra LP:n, jonka suunniteltu vuosituotanto on 470 tonnia lohta, investointikustannukset olivat noin 18,8 \$/kg. Vuorostaan ToBC:n, jonka vuosituotanto on 100 tonnia kirjolohta, investointikustannukset olivat noin 15,2 \$/kg (Robinson & Wright, 2013). Liu ym. (2016) arvioivat, että 4 000 tonnia lohta tuottavan RAS-laitoksen investointikustannus olisi noin 13,4 \$/kg (*Huomio: Robinson & Wright (2013) Canadian dollareina; Liu ym. (2016) Yhdysvaltain dollareina*). Bjørndal & Tusvik (2017) puolestaan arvioivat, Billund Aquaculture Service A/S:n tietoihin pohjautuen, että suurta lohta kasvattavan norjalaisen kierto-vesilaitoksen (vuosituotanto 1 000-5 000 tonnia) investointikustannus olisi noin 12,4-16,1 €/kg.

Raportissaan, Robinson & Wrightin (2013) listasivat tekijöitä, joilla on merkittävä vaikutus kierto-vesilaitoksen investointikustannuksiin sekä mahdollisiin säästöihin (Taulukko 11). Ehdotukset säästökoh-teista perustuivat Kuterra LP:n sekä ToBC:n kierto-vesilaitoksista saatuihin kokemuksiin. Investointikus-tannuksia voidaan pienentää suuremman riskin uhalla tai tinkimällä komponenttien pitkäikäisyydessä, käyttökustannuksissa tai vedenlaadussa. Robinson & Wright (2013) arvioivat, että Kuterra LP:n inves-tointikustannukset olisi pystytty pienentämään noin 10-13 dollariin per kg, mikäli laitoksen suunnitte-lussa olisi otettu paremmin huomioon Taulukko 11 esitetyt asiat.

**Taulukko 11.** Joitain tekijöitä, jotka vaikuttavat kierto-vesilaitoksen investointikustannuksiin sekä mahdollisia kustannussäästötoimia. Taulukon tiedot on koottu lähteestä Robinson & Wright (2013).

Investointikustannuk-seen vaikuttava tekijä	Teko, jolla vaikutus kustannuksiin	Mahdollisuus kustannussäästöön
Tavoitteena saavuttaa parhaat mahdolliset kas-vatusolot	Vedenlaadun korkeat vaatimukset nostavat laitoksen sekä laitteiston kustannuksia.	Optimoi vesiparametrit sekä lait-teistojen koko vastaamaan todel-lisen tuotannon kapasiteettia il-man liian suurta lisäkapasiteettia.
Bioturvallisuus	Kalanpoikasen ostaminen laitok-sesta, jota ei ole sertifioitu tauti-vapaaksi, jolloin on tarvetta yli-määräiselle karanteeniyksikölle.	Oma hautomo poistaa karantee-niyksikön tarpeen sekä parantaa jatkokasvatukseen menevän poi-kasen toimitusvarmuutta.
Tarkoituksena toimia malli- tai tiedonkeruulai-toksena	Laitoksen varustaminen ylimääräi-sillä tutkimuskäyttöön tarkoite-tuilla seurantalaitteilla tiedonke-ruun ja tallentamisen maksimoi-miseksi.	Tutkimuskäyttöön tarkoitettuja laitteita vähentämällä kustannuk-sia saadaan pienennettyä.

Taulukko 11. (jatkuu)

Sijainti	Syrjäinen sijainti lisää hankinta-, huolto- ja kuljetuskustannuksia.	Merkittäviä säästöjä voidaan saavuttaa, mikäli laitos sijaitsee lähempänä markkinoita.
Tuotannon koko	Liian pieni tuotanto lisää investointi- sekä käyttökustannusten suhteellista osuutta kuten myös riskiä.	Tuotannon skaalaaminen ”kaupalliseen mittakaavaan”, jota pidetään suurempana kuin 1 000 tonnia/a, lisää kustannustehokkuutta.
Riskit	Suurempi hyväksyttävä riski mahdollistaa kustannussäästöjä minimoimalla päällekkäisiä järjestelmiä ja varajärjestelmiä tai lieventämällä bioturvallisuustoimia. Esimerkiksi käyttämällä pääsääntöisesti manuaalista järjestelmän ohjausta automaation sijaan, varajärjestelmien tai lämmönsäätömahdollisuuksien määrää pienentämällä tai käytettyjen laitteiden hyödyntämisellä voidaan kaikilla pienentää investointi- ja käyttökustannuksia, mutta samalla tuotannon riskit kasvavat.	Ennen laitoksen suunnittelua tulisi miettiä hyväksyttävän riskin määrää suhteessa investointi- ja käyttökustannuksiin.
Tekniikka ja rakentaminen	Modulaaristen rakenteiden ja komponenttien hyödyntäminen sekä ”hyllytavara” (off-the-shelf) vedenkäsittelylaitteiston käyttäminen vaikuttavat kustannuksiin. Lisäksi, komponenttien koolla on vaikutusta.	Tehokas laitossuunnitelma rakennustapaan ja -kustannuksiin nähdä. Elementtien hyödyntäminen rakentamisessa, modulaaristen ”hyllytavara” vedenkäsittelylaitteiston hyödyntäminen sekä esimerkiksi kasvatusalaiden tilavuuden kasvattamisella voidaan saavuttaa kustannussäästöjä.
Investointi- ja käyttökustannusten vaikutukset toisiinsa	Kiertovesilaitoksen automatisointi lisää investointikustannuksia, mutta voi maksaa itsensä takaisin alentuneella käyttökustannuksella, etenkin suuren kokoluokan laitoksissa.	Harkitse automaatioastetta käyttökustannusten säästöjen kautta.

#### 4.2.1. Talvivarastoinnin investointikustannusten muodostuminen

Perinteisen talvivarastoinnin investointikustannukset ovat pienet. Talvella, kaloja säilytetään samoissa kehikoissa kuin niitä kesäisin kasvatetaan, joten kustannuksia syntyy lähinnä altaiden talvisäilytyspaikan ankkuroinneista ja altaiden hinauksesta, pienimuotoisesta ruokinnasta sekä mahdollisesta vesialueen vuokrasta. Mikäli talvisäilytystä joudutaan syystä tai toisesta tekemään maa-altaissa, syntyy investointikustannuksia maa-altaiden rakentamisesta. Rakennuskustannuksessa on ainakin hyvä huomioida:

- louhinta-/maarakennustyöt sekä maansiirto;
- putkitukset ja altaiden vesityksen järjestäminen;
- allasrakenteiden kustannukset (myös esimerkiksi alueen aitaus);
- veden pumppauksen sekä mahdollisen lisähapetuksen ja lämmittämisen järjestäminen;
- tuotantoa tukevien rakennusten tai rakenteiden kustannukset (infra, sähkö, varastot yms.).

## 5. RantaRAS-konseptin tuotanto ja kannattavuus

Kirjallisuudesta ja haastatteluista tunnistettujen haasteiden perusteella kehitettiin tuotantosuunnitelma RantaRAS-konseptille. Tuotannosuunnittelussa keskityttiin etenkin RAS-laitoksen korkeaan käyttöasteeseen, biomassojen hallintaan tuotannon eri vaiheissa sekä kalojen siirtoon ja sopeuttamiseen. Tuotantosuunnitelman lähtökohtana oli mahdollistaa avomერიyksikön koko tuotanto kiertovesikasvatetulla kirjolohen poikasella. Tuotantosuunnitelma tehtiin Excel-ohjelmistolla ja saatujen tulosten kannattavuutta arvioitiin Kankaisen (2014) laskentatyökalulla *Simplified profitability analysis model for fish farming*. Käyttö ja investointikulut RantaRAS-konseptille arvioitiin Rami Salmisen avustuksella.

Kuvitteellinen avomერიyksikkö sekä kiertovesiyksikkö sijaitsevat Pohjanlahdella, sillä tälle alueelle on joko myönnetty tai haettu avomерikasvatustulupia. Suunniteltu RantaRAS-kokonaisuus koostuu hautoimasta ja starttikasvatustulupista, poikasen jatkokasvatustulupista sekä säilytykseen soveltuvista maa-allasta. Järjestelmät ovat erillään toisistaan. Maa-allassäilytys perustuu läpivirtausperiaatteeseen, kun taas muut järjestelmät kierrättävät vettä. Maa-allassäilytyksen vedentarve on noin 100 l/s kun taas suunniteltu kiertovesilaitoksen uuden veden tarve on noin 6 l/s.

### 5.1. Kirjolohen oletettu kasvu avomerellä

Kirjolohen kasvua arvioitiin eri menetelmillä avomeri- sekä kiertovesikasvatuksessa. Tällä hetkellä Suomessa on toiminnassa vain yksi avomerilaitos, joka sijaitsee Perämerellä. Tulupia on kuitenkin haettu myös esimerkiksi Selkämerelle sekä Merenkurkkuun. Koska esimerkiksi kasvatuskauden pituudet eroavat merkittävästi Pohjanlahden eri alueiden välillä, kasvaa kirjolohi yhden merikasvatustulupin aikana eri tavalla rannikon eri alueilla (Kankainen ym. 2020).

Avomerituotannon lähtökohtana oli kasvattaa keskipainolta yli 2 kg kirjolohta yhden merikasvatustulupin aikana. Kankainen ym. (2020) mallinsivat 500 g kirjolohen kasvua Suomen rannikon eri alueilla. Kirjolohen kasvua eri tuotantopaikoilla arvioitiin kuutiojuurimallin avulla ja mallin antamia tuloksia verrattiin kirjolohen todennettuihin kasvuihin. Kasvumalli huomioi mm. lämpötilasta ja tuulisolosuhteista muuttuvan kasvukauden pituuden sekä veden lämpötilan että eri vuodenaikojen vaikutuksen kalan kasvunopeuteen. Kasvumallin mukaan 500 g poikasen kasvaa avoimella Pohjanlahden alueella yhden kasvukauden aikana 2 360-2 750 g painoiseksi.

RantaRAS-konseptin tuotannosuunnittelussa oletettiin, että 500 g poikasen saavuttaa avomerellä 2 360 g keskipainon yhden merikasvatustulupin aikana. Avomერიyksikön ympäristöluvun oletetaan sallivan enintään laskennallisen ravinnepäästön 4 000 kg fosforia sekä 38 000 kg typpeä. Rehukertoimella 1,15 laskennallinen ravinnepäästö mahdollistaa miljoonan kilon lisäkasvun. 3 %:n kasvatuskauden kuolleisuudella, avomერიyksikkö tarvitsee noin 540 000 kappaletta à 500 g poikasta.

### 5.2. Kirjolohen oletettu kasvu kiertovesilaitoksessa

Avomерikasvatuksesta poiketen kirjolohen kasvua ei mallinnettu kuutiojuurimallin perusteella kiertovesikasvatuksessa. Joblingin (2003), mukaan Iwama & Tautzin (1981) esittämän kuutiojuurimallin perustana on kolme oletusta, jotka eivät aina pidä paikkaansa:

- kasvu lisääntyy tasaisesti ja ennustettavasti lämpötilan kasvaessa;
- kalan pituus ( $L$ ) on verrannollinen sen painoon ( $W$ ) suhteessa  $L \propto W^{1/3}$ ;
- lämpötilakohtainen pituuskasvu on lineaarista.

Koska RantaRAS-konseptissa kirjolohen kasvua haluttiin mallintaa silmäpisteasteen mätimunasta asti, olisi yllä mainitut oletukset väistämättä vaarannettu. Tästä syystä kirjolohen kasvu kiertovesilaitoksessa mallinnettiin oletettuun ruokintaan perustuen. Kasvumalliin käytetyt ruokintataulukot on esitetty Liitteessä A. Kiertovesikasvatuksen kasvumalli käyttää eri rehua alle 50 g poikaselle sekä yli 50 g kirjolohen poikaselle. Kasvumallissa kalan ruokintamäärä riippuu oletetusta veden lämpötilasta sekä kalojen keskipainosta viikon alussa. Kalojen keskipainot mallinnettiin viikoittain. Viikoittainen kasvu on laskettu ruokitun rehun sekä oletetun rehukertoimen avulla.

Kasvumallin oletuksena oli lisäksi, että kiertovesilaitoksen tuotanto-olosuhteet pysyvät hyvinä ja että bioturvallisuustoimet estävät tautiepidemiat, jolloin kuolleisuus pysyy maltillisena. Kasvumallissa ei ole tuotannonkeskeytyksiä eikä muitakaan paastojaksoja, joita tulee esimerkiksi poikasten rokottamisen yhteydessä.

Kiertovesikasvatuksen kasvu jaoteltiin neljään vaiheeseen: haudontavaihe, starttiruokintavaihe, pienpoikasvaihe sekä poikasvaihe (Taulukko 12). From & Rasmussenin (1991) mukaan, kirjolohen silmäpistemädin haudonta-aika on 9-13 vuorokautta 10 °C, kun taas Buric ym. (2014) saivat 11 °C keskilämpötilassa silmäpistemädin haudonta-ajaksi noin 16 vuorokautta. Kasvumalliin haudonta-aika asetettiin kestävään 2 viikkoon ja muiden vaiheiden kesto riippuu ruokintamäärästä. Kasvumallin ruokintamääräksi asetettiin ohjeellisten ruokintataulukoiden alhaisimman mahdollisen rehukertoimen sekä optimaalisen ruokinnan keskiarvo. Kuoriutumisen jälkeen kalanpoikasen painoksi määritettiin 0,11 g mikä perustuu From & Rasmussenin (1991) mittaamiin painoihin. Tällä alkupainolla kalanpoikasen painonkehitys seurasi hyvin Buric ym. (2014) raportoimaa painonkehitystä kirjolohen hautomossa.

**Taulukko 12.** Kirjolohen kasvumallin tuotantovaiheiden muuttujia.

Tuotantovaihe	Kalanpoikasen paino	Kesto	Kuolleisuus <sup>1</sup>	Veden lämpötila	Rehu	FCR
Haudota ja startti	0-0,6 g	8 viikkoa	17,7 %	10 °C	INICIO plus	0,8
Starttiruokinta	0,6-7 g	8 viikkoa	3,5 %	12 °C	INICIO plus	0,8
Pienpoikasvaihe	7-50 g	8 viikkoa	1,8 %	14 °C	INICIO plus	0,8
Poikasvaihe	50-500 g	15 viikkoa	3,4 %	16 °C	EFICO Enviro 920 Advance	0,84-1,0
Koko tuotantokierto	0-500 g	39 viikkoa	24,6 %	-	-	0,905 <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kuolleisuus ottaa huomioon sekä kuolleet kalat että huonojen yksilöiden vähennykset. Kuolleisuus haudonta ja starttiruokinta vaiheessa on arvioitu 2 g painoon asti Buric ym. (2014) mukaan. Tämän jälkeen kuolleisuus on 500 g painoon asti kokonaisuudessaan 6 %. Poikasvaiheen jälkeen viikkokuolleisuus jatkaa 0,23 % suuruisena.

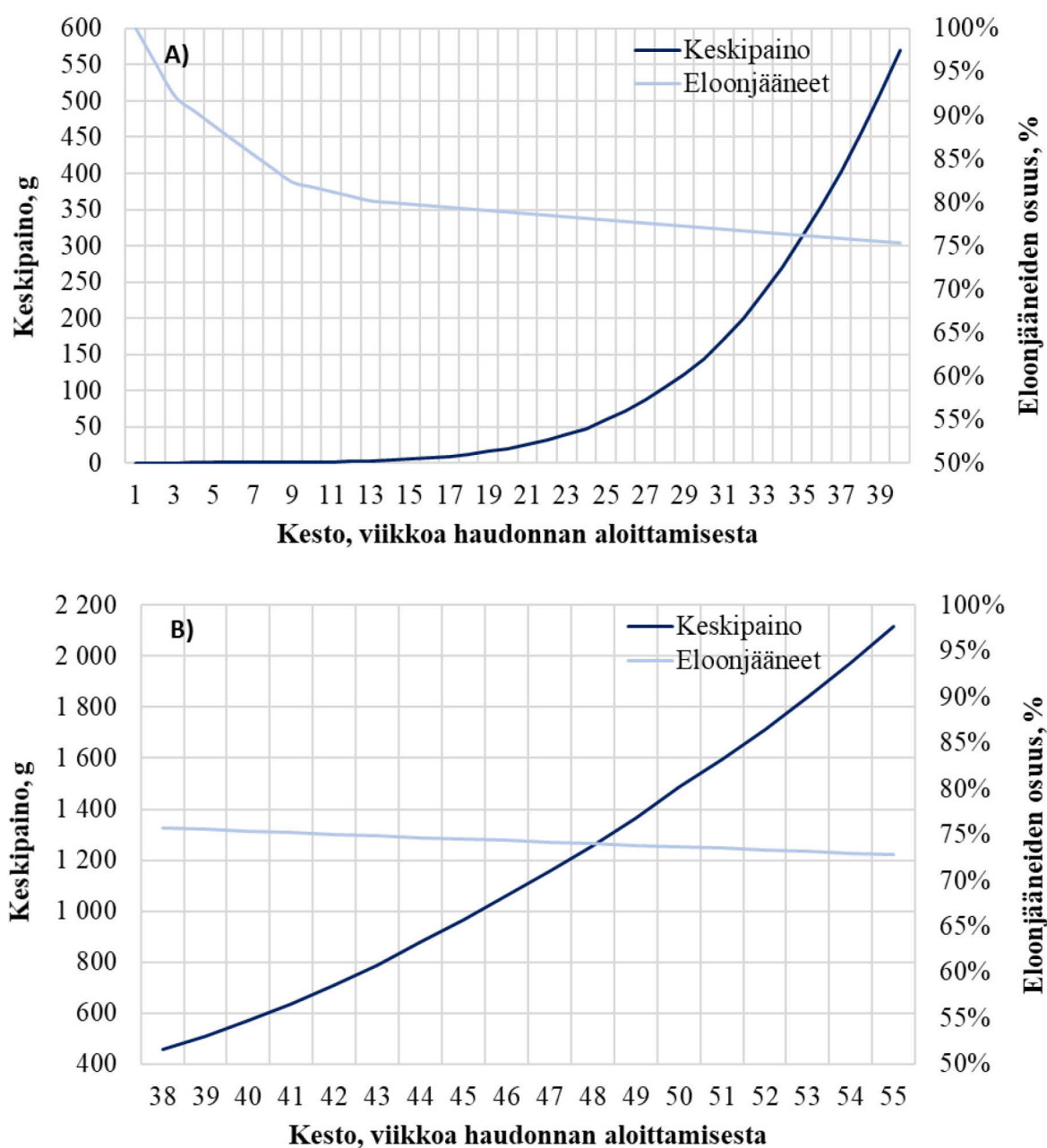
<sup>2</sup>Koko tuotantokierron FCR huomioi kuolleisuuden tuotantokierron aikana.

Käytetyissä rehutaulukoissa ei ole annettu rehukertoimia. Tästä syystä rehukerroin arvioitiin Raisioaqua (2018) taulukoiden pohjalta. Koska kasvumallissa ruokintamäärä on mahdollisimman pienen rehukertoimen tuottavan ruokinnan ja maksimaalisen kasvuntuottavan ruokinnan keskiarvo, korotettiin Raisioaquan (2018) rehukertoimia 5 %:lla. Mallin rehukertoimia verrattiin vielä *Kalankasvatuksen ympäristönsuojeluohjeessa* esitettyihin RCTL:n tietoihin perustuviin tyypillisiin rehukertoimiin (Taulukko 13). Kasvumallin koko tuotannon rehukerroin  $FCR_{malli}$  on silmäpisteasteesta 500 g poikaseksi 0,90. RCTL:n tyypillisiin rehukertoimiin perustuvan tuotantokierron rehukerroin olisi 0,89. Näin ollen kasvumallin rehukertoimen ei pitäisi olla liian optimistinen, joskin ajoittain kiertovesilaitoksessa olosuhteiden muutokset tai muut yllättävät tekijät voivat heikentää rehukerrointa.

**Taulukko 13.** Kasvumallin käyttämät rehukertoimet kalan painojen mukaan.  $FCR_{RKL}$  arvot lähteestä Ympäristöministeriö (2013).

Paino, g	≤50	50-100	100-300	300-450	450-800	800-1000	1000-1400	≥1400
$FCR_{malli}$	0,8	0,84	0,89	0,95	1,00	1,05	1,10	1,16
Paino, g	≤70		70-500		500-1000		1000-2000	
$FCR_{RKL}$	0,8		0,9		1,05		1,15	

Edellä esitettyjen tietojen perusteella saadaan kirjolohen keskipainon sekä kuolleisuuden kehitys lasketta Kuva 4 mukaisesti.



**Kuva 4.** Kirjolohen mallinnettu painonkehitys sekä kuolleisuus (eloonjääneiden osuus silmäpisteasteesta asti) A) poikasvaiheen kasvatuksessa sekä B) teuraskalan jatkokasvatuksessa.

### 5.3. RantaRAS-konseptin tuotantosuunnitelma

RantaRAS-konseptin tuotannosuunnittelun pääpaino oli löytää tuotantorytmiikka, joka mahdollistaa vaaditun määrän kirjolohen poikasta avomeriyksikön tarpeisiin ennen merikasvatuskauden alkua. Lisäksi kiertovesilaitoksen tuotannoksi pyrittiin löytämään vaihtoehto, jossa tuotanto ja laitoksen biomassassa on mahdollisimman tasaista ja niin kutsuttua ”*all-in and all-out*” -periaatetta pyrittiin välttämään. Tuotannosuunnittelun lähtötietoina käytettiin seuraavia oletuksia:

Avomerituotanto:

- Avomeriyksikkö sijaitsee Pohjanlahdella;
- Avomeriyksikön ympäristölupa mahdollistaa 1,15 rehukertoimella lisäkasvua miljoona kiloa;
- 500 g poikanen saavuttaa yhden merikasvukauden jälkeen 2360 g painon;
- Avomerikasvatuksen kuolleisuus on 3 %;
- Avomerituotantoon siirretään 540 000 kpl à 500 g kirjolohenpoikasta viikon 23 aluksi;
- Viikon 43 lopuksi noin 1 250 tonnia kirjolohta siirretään avomereltä rantaan teurastukseen tai säilytykseen;
- Perkaussaanto on 85 %, jolloin myyntimäärä on noin 1 060 tonnia.

RantaRAS-laitos:

- Hautomo, starttikasvatus, poikaskasvatus sekä maa-allassäilytys sijaitsevat samalla tontilla rannikon läheisyydessä;
- RantaRAS-laitos on avomeriyksikön omistama ja se tuottaa poikasta avomerilaitoksen tarpeisiin;
- Kiertovesilaitoksella on saatavilla riittävästi hyvänlaatuista vettä ja laitostekniikka mahdollistaa hyvät kasvatusolosuhteet kaikissa tuotannon vaiheissa;
- Kirjolohen kasvu sekä kuolleisuus kasvatuksen aikana noudattaa aiemmin esitettyä kasvumallia;
- Tuotannon bioturvallisuus on korkea eikä suurta kuolleisuutta tai tuotantokatkoja synny;
- Tuotanto alkaa silmäpistemädistä, jota ostetaan vain sertifioiduilta tautivapailta mädintuottajilta;
- Tuotanto pyritään suunnittelemaan siten, että laitoksen biomassassa pysyy mahdollisimman tasaisena;
- Kiertovesilaitoksen ominaispäästöt ovat noin 0,8 g fosforia ja 16 g typpeä tuotettua kalakiloa kohden;
- Uutta vettä tarvitaan noin 500 litraa käytettyä rehukiloa kohden. Uuden veden tarve on noin 6 l/s;
- Poikasia voidaan siirtää läpivirtausperiaatteella toimiviin maa-altaisiin vuoden ympäri.

Erilaisia tuotantovaihtoehtoja mallinnettiin Excel -ohjelmistolla. Eri tuotantosuunnitelmista huomattiin, että tuotantoerien välisen ajan ollessa noin 2 kuukautta biomassan heilahtelu ei ollut liian suurta. Tuotantosuunnitelmassa kalan kasvunopeuksien erot huomioitiin siten, että kaloja mallinnettiin siirrettäväksi kiertovesilaitoksesta maa-allassäilytykseen viiden viikon aikana. Haudonnan aloittamisen jälkeen siirrettiin jokaisesta poikaserästä 15 % maa-altaisiin viikkojen 37 sekä 41 lopussa, 20 % siirrettiin viikkoina 38 sekä 40 ja 30 % siirrettiin viikon 39 päätteeksi.

Kasvumallissa oletetulla kuolleisuudella avomeriyksikön poikasmäärän tuottaminen vaatii noin 720 000 silmäpisteasteen mätimunaa. Kun oletetaan, että yhden mätierän tuotantokierto kestää 39 viikkoa ja että kaikkien poikasten tulisi olla valmiina merelle siirtoa varten ennen viikkoa 23, tulisi neljän vuosittaisen mätierän tapauksessa tuotannon alkaa merelle siirtoa edeltävän vuoden noin viikkojen 8-12 välillä, riippuen miten pitkän sopeuttamisjakson poikaselle halutaan antaa ennen merelle siirtoa (Taulukko 14).

**Taulukko 14.** Esimerkki RantaRAS-konseptin tuotantokierrosta neljällä samansuuruisella mätierällä.

Tuotantoerä	Alkamisviikko	Siirto säilytykseen	Mätierän koko, kpl	Tuotettuja à 500 g poikasia, kpl
1. erä	10	48	180 000	136 000
2. erä	18	4	180 000	136 000
3. erä	26	12	180 000	136 000
4. erä	34	20	180 000	136 000
<b>Koko tuotantokierto</b>	-	-	720 000	544 000

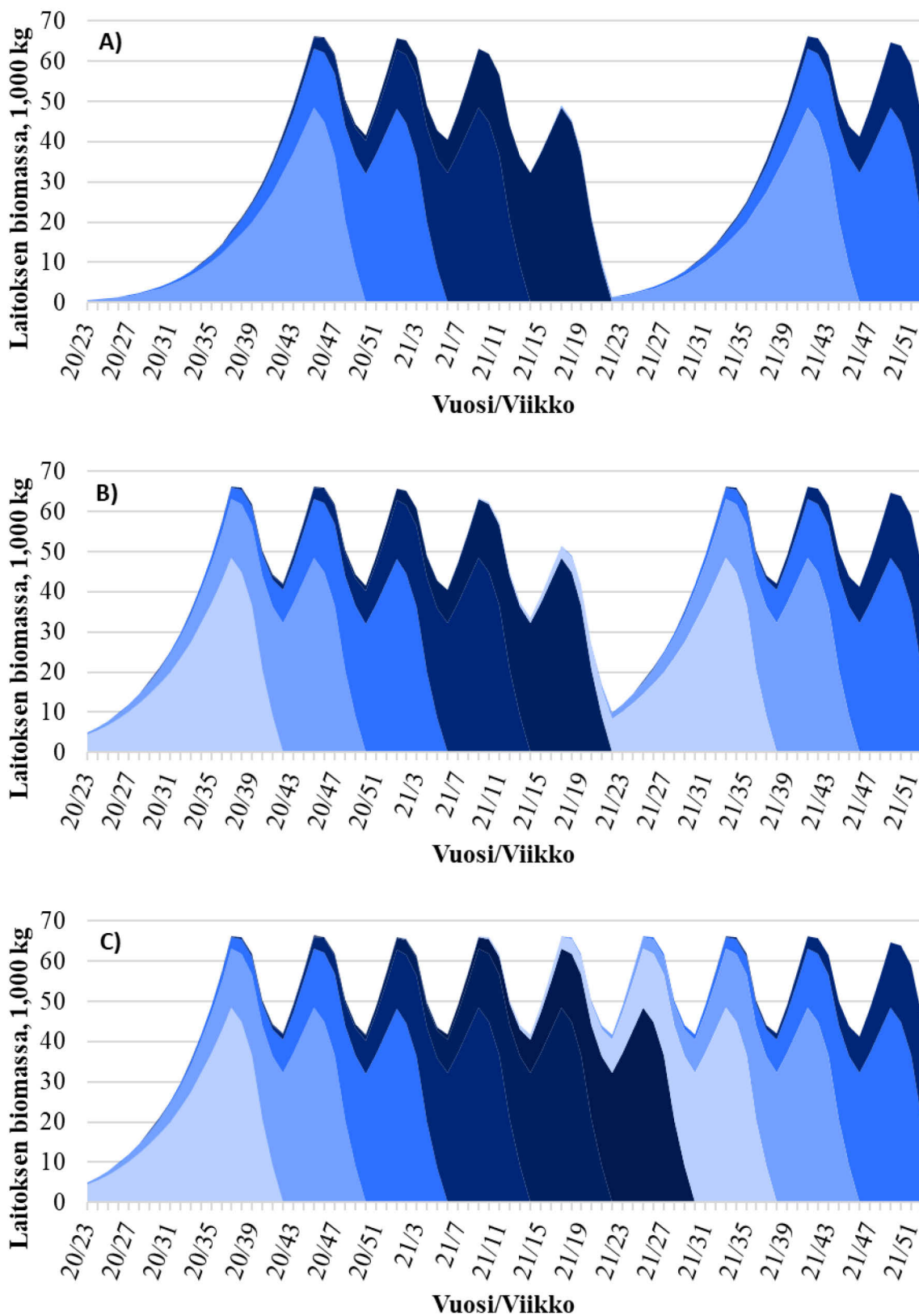
Neljällä vuosittaisella mätierällä kiertovesilaitoksen biomassassa tippuu käytännössä nolnaan merikasvatuskauden alkaessa viikolla 23, mutta biomassaa voidaan tasata ottamalla useampia mätieriä vuodessa (Kuva 5). Tällöin on kuitenkin ongelmana, että poikasta valmistuu sellaisina aikoina, jolloin poikasen siirtäminen merelle ei oikein onnistu (esimerkiksi kesällä korkean veden lämpötilan takia). Riskinä on, että kesällä valmistuva poikanen ei siirtorajoitteista johtuen saavuttaisi merikasvatuksessa riittävän suurta teuraspainoa, jolloin kala vaatii ylimääräisen talvehtimisen, jota RantaRAS-konseptissa pyritään välttämään.

Neljän mätierän tuotantokierron etuna on, ettei poikasta valmistu kesällä, jolloin sen siirtäminen tai säilyttäminen voi tuottaa hankaluuksia. Koska tässä tuotantovaihtoehdossa kiertovesilaitoksen biomassassa putoaa todella pieneksi kesän ajaksi, muokattiin tuotantokiertoa siten, että kahdesta jälkimmäisestä erästä tehdään merikasvatukseen menevän poikasen lisäksi myös myyntiin tarkoitettua suurempaa ( $\geq 1,5$  kg) teuraskalaa yhteensä noin 58 000 kg (Kuva 6). Tällä tuotantovaihtoehdolla teuraskalaa saadaan myyntiin myös kesäkuusta syyskuuhun, jolloin markkinoilla on vajetta kotimaisesta kirjolohesta. Yhdistetyssä poikas- ja teuraskalatuotannossa kahden jälkimmäisen erän koko on hieman pelkkää poikastuotantoa suurempi (Taulukko 15).

**Taulukko 15.** Vaihtoehtoinen RantaRAS-konseptin tuotantokierto, jossa yhdistyy poikastuotanto sekä teuraskalatuotanto.

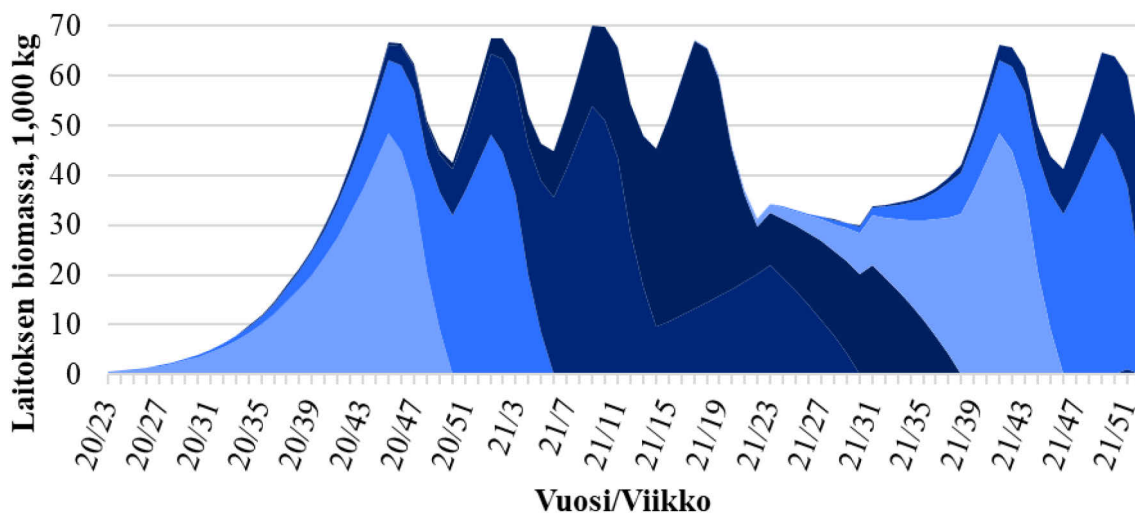
Tuotantoerä	Alkamisviikko	Mätierän koko, kpl	Tuotettuja à 500 g poikasia, kpl	Teuraskalan määrä, kg	Rehunkulutus, 1 000 kg <sup>1</sup>
1. erä	10	180 000	136 000	-	63,5
2. erä	18	180 000	136 000	-	63,5
3. erä	26	180 000	136 000	28 800	93,5
4. erä	34	180 000	136 000	28 800	93,5
<b>Koko tuotantokierto</b>	-	720 000	544 000	57 600	314

<sup>1</sup>Eräkohtainen rehunkulutus on laskettu kasvumallista ja rehunkulutus huomioi kuolleisuuden tuotannon aikana.



**Kuva 5.** Esimerkkejä RantaRAS-kiertovesilaitoksen biomassasta A) neljälle, B) viidellä ja C) kuudella vuosittaisella mätierällä. Eri mätierät eri väreillä.





Kuva 6. RantaRAS tuotantokierto, jossa neljällä mätierällä tuotetaan poikasta sekä teuraskalaa kesämarkkinoille.

## 5.4. RantaRAS-konseptin kannattavuus

RantaRAS-konseptin kannattavuutta arvioitiin avomerikasvatetun kirjolohen tuotantokustannuksella käyttäen itsetuotettua kiertovesipoikasta. Kannattavuutta ei ole verrattu vaihtoehtoon, jossa poikanen on tuotettu merialueella poikaskasvatusyksikössä ja talvehtinut meressä yhden talven. Itse tuotetun kiertovesikasvatetun poikasen kustannusta arvioitiin kahdessa tuotantoskenaariossa: tapauksessa, jossa kirjolohen poikanen tuotetaan neljällä mätierällä (VE1, Kuva 5A) sekä tilanteessa, jossa poikasen lisäksi tuotetaan teuraskokoista kalaa kesän markkinoille (VE2, Kuva 6). Kannattavuuslaskelmassa kiertovesilaitoksen oletetaan olevan täydessä toiminnassa ja tuotannon oletetaan toimivan ilman merkittäviä ongelmia. Esitetyt kustannukset ovat arvonlisäverottomia.

RantaRAS-konseptin kiertovesilaitoksen katsottiin tarvitsevan seuraavanlaiset kasvatusaltaat:

- 30 haudontasuppiloo ja 20 kaukaloa starttiruokintaan;
- 25 kpl à 0,5 m syviä, 2\*2 m neliskulmaita lasikuitualtaita ( $V = 2 \text{ m}^3$ , max. kalatiheys  $10 \text{ kg/m}^2$ );
- 10 kpl à 1,2 m syviä, pyöreitä  $\varnothing 5 \text{ m}$  lasikuitualtaita ( $V = 23,5 \text{ m}^3$ , max. kalatiheys  $30 \text{ kg/m}^3$ );
- 6 kpl à 1,8 m syviä, pyöreitä  $\varnothing 8 \text{ m}$  betonialtaita ( $V = 90 \text{ m}^3$ , max. kalatiheys  $50 \text{ kg/m}^3$ );
- 8 kpl à 2,8 m syviä, pyöreitä  $\varnothing 8 \text{ m}$  betonialtaita ( $V = 140 \text{ m}^3$ , max. kalatiheys  $50 \text{ kg/m}^3$ );
- 3 betonielementtirakenteista maa-allasta ( $V = 2\,400 \text{ m}^3$ , max. kalatiheys  $50 \text{ kg/m}^3$ ).

Kiertovesilaitoksen kokonaisallastilavuus on noin  $1\,950 \text{ m}^3$  ja maa-allassäilytyksen  $7\,200 \text{ m}^3$ . Kala-altaiden yhteenlaskettu kustannus putkituksineen arvioitiin olevan noin  $620\,000 \text{ €}$ .

RantaRAS-laitoksessa oletetaan olevan erilliset vedenpuhdistuskierrot hautomolle, starttiruokinnalle, pienpoikastuotannolle sekä kaksi erillistä järjestelmää poikasen jatkokasvatukselle. Vesi vaihtuu kasvatusaltaisissa noin kerran tunnissa. Jokaisessa järjestelmässä on tyypilliset kiertovesilaitteet kuten rumpusuodatin, bioreaktori (MBBR/ilmastettu liikkuvapeti), kiertovesipumput, allaskohtaisesti lisäilmaistus, lisähapetus happikivillä ja ruokintalaitteistot sekä UV-desinfektointi. Lisäksi pienpoikasvaiheessa ja siitä eteenpäin altaissa on painehapettimet allaskohtaisesti. Poikasen jatkokasvatusjärjestelmässä on lisäksi valkuaisainevaahdottimet poistamassa hienojakeisinta kiintoainetta sekä denitrifikaatilaitteisto nitraatin poistamiseksi. Laitoksella vaadittava happi ja otsoni tuotetaan generaattoreilla. Lisäksi laitoksessa on puhdistamo, jossa on laitteisto kemiallisen saostuksen toteuttamiseksi. Laitoksella on

varavoimageneraattori sähkösaannin turvaamiseksi sekä korkea automaatioaste. Kokonaisuudessaan kiertovesijärjestelmän laitteiston arvioitiin maksavan noin 1 388 000 € (sisältää sähkö- ja putkityöt). Maa-altaat toimivat läpivirtausperiaatteella.

Kiertovesilaitoksen katsottiin tarvitsevan 3 000 m<sup>2</sup> hallin, jonka kustannuksen arvioitiin olevan kokonaisuudessaan (sis. puolilämpimän hallin, pohjarakentamisen, maansiirtotyöt sekä talotekniikan) 2 400 000 €. Lisäksi investoinnit kuljetuskalustoon (trukki, pakettiauto ja pumppukärkyjä) ovat 46 000 € sekä sähköliittymämaksu 50 000 €. Kokonaisuudessaan tuotantorakennuksen, altaiden, vedenpuhdistus- ja viljelylaitteiston sekä kuljetuskaluston investointi on 4 504 000 €. Investointikustannuksiin tehtiin 8 % korotus kattamaan odottamattomia kustannuksia (360 000 €). Kiertovesilaitoksen rakennusluvan arvioitiin maksavan 30 000 €. Suunnittelu-, konsultti ja projektinjohtokustannuksen arvioitiin olevan noin 245 000 €. Kokonaisuudessaan suunnitellun kiertovesilaitoksen investointikustannukset ovat noin 5,14 miljoonaa €. Ilman investointitukea, investointikustannus kalakiloa kohden on noin 18,8 €/kg. Investoinnin poistoajaksi määritettiin 10 vuotta ja investoinnin korko on 4 %. Kiertovesilaitoksen kannattavuutta arvioitaessa hankkeelle oletettiin myönnettävän 40 % investointituki, minkä jälkeen investoitavaa jää noin 3,1 miljoonaa euroa.

Muita kiinteitä kustannuksia, joita kiertovesilaitokselle tulee ovat kiinteistön vuokra, laitteiston huolto, velvoitetarkkailumaksut, kirjanpito-kustannukset, toimiston sekä maa-allassäilytyksen sähkö, polttoainekustannuksia sekä laitteiston- ja kiinteistön vakuutusmaksuja. Näiden arvioitiin olevan 191 000 € vuodessa. Kiertovesilaitoksen arvioitiin työllistävän kokopäiväisesti neljä työntekijää. 3 000 € kuukausipalkalla ja 50 % työnantajan sivukulujen korotuksella henkilöstökustannus on 261 000 € vuodessa.

Muuttuvien kustannusten arvioitiin olevan seuraavat:

- Rehukustannus 1,35 €/rehukilo;
- Silmäpistemädin hinta 50 € / 1 000 kpl;
- Rokottamisen hinta 0,08 €/kpl. Lisäoletuksena on, että 80 % silmäpistemädistä saavuttaa rokkottamiseen vaadittavan koon;
- Muut lääkintäkustannukset ovat 0,02 €/kalakilo;
- Sähkönkulutus (ilman happi- ja otsonigeneraattoreita) on 3,8 kWh/tuotettu kalakilo ja yksikköhinta 0,12 €/kWh;
- Hapen tuottamisen energiakustannus on n. 0,08 €/kalakilo, kun hapen kulutus on 0,75 kg O<sub>2</sub> /rehukilo. Hapen tuottamiseen vaadittava energiantarve nykyaikaisilla happigeneraattoreilla on n. 0,8 kWh/kg O<sub>2</sub> ja painehapettimien hyötysuhde on 90 %;
- Otsonin kustannus on n. 0,03 €/kalakilo, kun otsonin tarve on 10 g O<sub>3</sub> /rehukilo ja otsonin tuottamisen energiantarve on 22 kWh/kg O<sub>3</sub>;
- Saostuskemikaalien kustannus on 0,02 €/rehukilo;
- pH-kemikaalien kustannus on 0,10 €/rehukilo. Lisätään 0,25 kg soodaa rehukiloa kohden, jonka hinta on 385 €/tonni.
- Lietteen hävityskustannus 0,18 €/rehukilo. Oletetaan, että kiintoainetta syntyy 250 g rehukiloa kohden, lietteen kuiva-ainepitoisuus on 10 % ja lietteen käsittelyhintaa on 72 €/m<sup>3</sup>.

Kokonaisuudessaan muuttuvat kustannukset ovat 2,35 € tuotettua kalakiloa kohden.

#### 5.4.1. Poikasen omakustannehinta VE1

VE1:ssä tuotetaan noin 540 000 kpl à 500 g kirjolohen poikasta neljässä erässä. Tuotanto lähtee silmäpisteasteen mädistä. Tuotantosuunnitelma VE1:n investointi ja käyttökustannukset on jaoteltu Liitteen B taulukoissa B.1-B.3. Aiemmin esitetyllä kasvumallilla, kustannuksilla ja investointituilla ovat VE1:n vuosittaiset kulut noin 1 432 000 €, jolloin 500 g kirjolohenpoikasen tuotantokustannus on noin 5,23 €/kg (Liite B, Taulukko B.4) (ilman 40 % investointitukea poikasen hinnaksi tulisi samalla poistoajalla ja

korolla noin 6,15 €/kg). Suurimmat kustannuserät ovat rehu (1,21 €/kg), investointien poistot (1,13 €/kg) sekä henkilöstökustannukset (0,79 €/kg).

VE1:n tuotannolle suoritettiin yhden muuttujan herkkyystarkastelu, jotta voitiin arvioida millä muuttujilla on suuri vaikutus poikasen omakustannushintaan (Liite B, Taulukko B.5.). Esimerkiksi on mahdollista, että kiertovesilaitoksen puhdistustekniikka toimii odotettua paremmin ja mahdollistaa tuotannon lisäämisen. Vaihtoehtoisesti voi tulla tilanne, jossa tuotantoennuste ei vastaa suunniteltua ja vuosituotanto on aiottua vähäisempi. Muita poikasen hintaan vaikuttavia muuttujia on esimerkiksi tuotannon rehukerroin, vaadittavan henkilöstön määrä, investointien suuruus ja korko sekä rehun hinta. Herkkyystarkastelun muuttujien vaihteluväli pyrittiin määrittämään siten, että ne olisivat mahdollisimman realistisia. Yhden muuttujan herkkyystarkastelussa poikasen omakustannushinta vaihteli 4,97-5,54 €/kg välillä. Verrattuna ”business-as-usual” tilanteeseen (5,23 €/kg), tämä tarkoittaa noin ±5 % muutosta. Suurimmat vaikutukset poikasen hintaan tulevat vuosituotannosta, henkilöstökuluista, alkuinvestoinnista sekä rehun hinnasta.

#### 5.4.2. Poikasen omakustannehinta VE2

Toisessa tuotantovaihtoehdossa VE2:ssa tuotetaan sama poikasmäärä kuin VE1:ssä, minkä lisäksi teuraskokoista kalaa tuotetaan kesämarkkinoille. Myydylä teuraskalalla katetaan poikastuotannon hintaa. VE2:n katsottiin tarvitsevan seuraavia lisäinvestointeja kasvatuslaitteiden sekä altaissa olevien laitteiden osalta:

- 3 kpl à 0,5 m syviä, 2m\*2m neliskulmaisia lasikuitualtaita);
- 1 kpl à 1,2 m syvä, pyöreä ø5 m lasikuituallas;
- 1 kpl à 1,8 m syvä, pyöreä ø8 m betoniallas;
- 3 kpl à 2,8 m syviä, pyöreitä ø8 m betonialtaita;
- 8 allaskohtaista ilmastinta, happikiveä sekä ruokintalaitetta;
- 5 painehapetinta.

Lisäinvestoinnin kustannus on noin 117 000 €, josta jää 40 % investointituen jälkeen noin 70 000 €. Muuttuvia kustannuksia katsottiin lisäksi syntyvän perkuuseen liittyen seuraavasti:

- Perkuun lisähenkilöstökustannus 0,1 €/perattu kalakilo;
- Kuljetuskustannus markkinoille 0,05 €/perattu kalakilo;
- Perkausvesien kustannus 0,01 €/perattu kalakilo;
- Perkuun vaatima energia 0,16 kWh/perattu kalakilo (Leppänen ym., 2018);
- Perkuujätteen hävityskustannus 83 €/t eli noin 1,2 senttiä/perattu kalakilo;
- Pakkauslaatikot 0,1 €/perattu kalakilo.

Kesän aikana myydystä teuraskalasta oletettiin saatavan hieman korkeampi hinta. Hinta-arviona on käytetty vuosien 2017-2019 kesä-syyskuun tuottajahintojen keskiarvoa. Peratun kirjolohen tuottajahintojen keskiarvo valitulta ajalta oli 5,94 €/kg (Luonnonvarakeskus, 2020). Perkaussaannon oletetaan olevan 85 %, jolloin VE2:ssa perattua teuraskalaa tuotetaan kesämarkkinoille 49 000 kg.

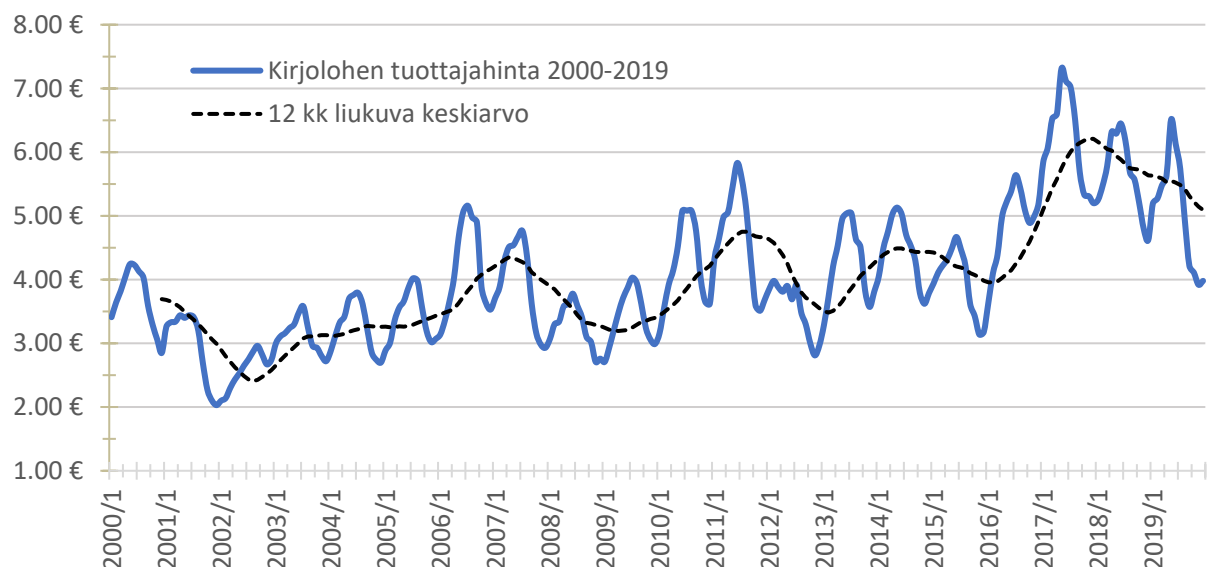
VE2:n tuotantokierrossa teuraskalan rehukerroin on noin 1,05, joka huomioi myös tuotannonaikaisen kuolleisuuden. Tuotantosuunnitelma VE2:n kannattavuuslaskelmat on esitetty Liitteissä B, Taulukot B.6.-B.9. Teuraskalan tuottamisen lisäkustannus on kokonaisuudessaan noin 159 000 € ja myynnistä saatava tuotto taas noin 291 000 €. Poikastuotannon kustannuksia voidaan kattaa muodostuneella 132 000 € voitolla. Kun 132 000 € teuraskalan myynnistä syntynyt voitto jyvitetään poikastuotannon kustannuksiin, saadaan poikasen kustannus laskettua arvoon 4,75 €/kg, mikä on noin 9 % vähemmän kuin VE1:ssä.

### 5.4.3. Avomerikasvatuksen kannattavuus

Koko tuotantoketjun kannattavuutta arvioidaan lopuksi avomerikasvatuskauden lopuksi teurastetun kirjolohen kustannuksella VE1:n (5,23 €/kg) sekä VE2:n (4,75 €/kg) poikashinnoilla. Avomerikasvatuksen kannattavuuslaskelmissa on käytetty seuraavia kustannuksia:

- Avomeriyksikön tuotanto on Kankainen & Mikalsen (2014) mukaista ja yksikön kokonaiskustannus on 2 305 200 €;
- Ympäristövaikutusten arvioinnin ja ympäristöluvan kokonaiskustannus on 100 000 €;
- Investoinnin poistoaika on 10 vuotta ja korko on 4,00 %;
- Investointituki on 30 %;
- Huolto-, kirjanpito- sekä laitevakuutus kustannus on yhteensä 40 000 € vuodessa;
- Vesistö tarkkailun kustannus yhteistarkkailussa on 30 000 €/vuosi eli noin 0,03 €/kg (Ympäristöministeriö, 2013);
- Henkilökustannus 216 000 € vuodessa (4 henkilöä, 3 000 €/kk + 50 % sivukulut)
- Tuotantokustannusten osalta on käytetty seuraavia arvoja:
  - Rehukustannus 1,30 €/rehukilo;
  - Perkuun henkilöstökustannus 0,1 €/perattu kalakilo;
  - Ruokinnan ja hinauksen polttoainekustannus 0,01 €/perattu kalakilo;
  - Perkuun energiakustannus (lämmitys, koneiden käyttö ja jäätntuotanto) 0,16 kWh/perattu kalakilo;
  - Kuljetuskustannukset markkinoille 0,02 €/perattu kalakilo
  - Perkausvesien kustannus 0,01 €/perattu kalakilo;
  - Perkuujätteen hävityskustannus on 83 €/tonni eli noin 1,2 senttiä/tuotettu kalakilo;
  - Perkaamon puhdistamon kemikaalikustannukset 0,5 senttiä/perattu kalakilo;
  - Pakkauslaatikot 0,1 €/perattu kalakilo.
- Laskelman panokset ja tuotokset on esitetty Liitteessä B, Taulukot B.10-B.13.

Vuosina 2016-2018 kirjolohen tuottajahinnat olivat korkealla ja keskiarvo oli 5,22 €/perattu kalakilo (Luonnonvarakeskus, 2020), mutta vuonna 2019 hinnat tulivat alaspäin ja vuoden lopussa hinta oli enää hieman alle noin 4 €/kg (Kuva 7). Avomerikasvatuksen kannattavuutta arvioitaessa eri kirjolohen poikasen hinnalla käytetään teuraskalan tuottajahintana 4,5 €/perattu kalakilo. Tämäkin hinta saattaa olla liian korkea, mikäli kirjolohen tuottajahintojen kehitys jatkuu tulevaisuudessa samanlaisena kuin viime vuosina.



**Kuva 7.** Kirjolohen tuottajahinnat 2000-2019 (Luonnonvarakeskus, 2020).

Esitetyillä tuotantomäärillä, -kustannuksilla sekä poikasen hinnoilla, teurastetun avomerikasvatetun kirjoloihen kustannus vaihtelee 3,36-3,49 €/kg välillä (Taulukko 16). Koska poikaskustannus on heti rehun jälkeen suurin yksittäinen kuluerä, on poikasen hinnalla merkittävä vaikutus avomerikasvatuksen kannattavuuteen. Halvemmalla poikaskustannuksella voidaan saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä. Myyntihinnan (perattu) ollessa 4,50 €/kg on tuotto ennen veroja noin 1,01-1,14 €/kg. Esitetyillä laskelmilla voidaan edullisemmalla poikasella saavuttaa jopa noin 12 % parempi vuosituotto.

**Taulukko 16.** Poikasen hinnan vaikutus avomerikasvatetun peratun kirjoloihen kustannukseen.

Poikasen hinta	5,23 €/kg	4,75 €/kg
<b>Kustannustekijä</b>	<b>€/kg</b> <b>%</b>	<b>€/kg</b> <b>%</b>
<b>Rehukustannus</b>	1,4 € 40,2 %	1,4 € 41,7 %
<b>Poikaskustannus</b>	1,34 € 38,5 %	1,22 € 36,3 %
<b>Muut muuttuvat kustannukset</b>	0,28 € 8 %	0,28 € 8,3 %
<b>Henkilöstökustannus</b>	0,2 € 5,8 %	0,2 € 6,0 %
<b>Investointien poistot</b>	0,16 € 4,5 %	0,16 € 4,7 %
<b>Muut kiinteät kustannukset</b>	0,07 € 1,9 %	0,07 € 2,0 %
<b>Korko</b>	0,04 € 1,0 %	0,04 € 1,1 %
<b>Kokonaiskustannus per kg</b>	<b>3,49 €</b> <b>100 %</b>	<b>3,36 €</b> <b>100 %</b>
<b>Kokonaiskustannus, €/a</b>	3 719 000 €	3 587 000 €
<b>Myyntihinta per kilo</b>	4,50 €	4,50 €
<b>Kokonaismyynti, €/a</b>	4 798 000 €	4 798 000 €
<b>Tuotto per kilo</b>	1,01 €	1,14 €
<b>Vuosituotto ennen veroja</b>	1 079 000 €	1 211 000 €
<b>Lisätulos (ennen veroja), €</b>	-	132 000 €
<b>Lisätulos (ennen veroja), %</b>	-	12,2 %

Kiertovesilaitoksen osalta merkittäviä säästöjä tai lisäkuluja voidaan saavuttaa etenkin tuotantorakennuksen kustannuksista. Riippuen tontin rakennettavuusluokasta sekä alueesta, jolle hallia rakennetaan voi teollisuushallin neliöhinta vaihdella suurestikin. Mikäli esimerkiksi 3 000 m<sup>2</sup> hallin rakentamiskustannuksia saadaan alennettua 50 €/m<sup>2</sup> tarkoittaa tämä 150 000 € pienempää rakentamiskustannusta.

Uutta kierto-vesilaitosta suunniteltaessa olisi hyvä löytää joitain synergiaetuja olemassa olevien resurssien avulla. Tällaisia resursseja voi olla edullinen energia, lämpö tai viilennys. Myös esimerkiksi ympäröivän teollisuuden puhdistamoiden ja puhdistusprosessien hyödyntäminen voi merkittävästi madallata kierto-vesilaitoksen investointi- sekä käyttökustannuksia. Koska kasvatuksen vaatima teollisuushalli on itsessään kallis investointi voi edullinen tuotantorakennus nostaa kierto-vesikasvatuksen kannattavuutta merkittävästi.

Mikäli poikasen kysyntä rannikolla kasvaa ja avomerilaitoksia tulee lisää kannattaa tutkia mahdollisuutta suuremmalle kiertovesilaitokselle, mikä tuottaa poikasta useamman avomerilaitoksen tarpeisiin. Pääsääntöisesti kiertovesilaitoksen tuotantovolyymin kasvattaminen alentaa kalan tuottamisen kustannusta, jolloin poikasen hinta alenee.

## 6. Johtopäätökset ja lisäselvitystarpeet

Tässä työssä on esitetty periaate rannikolla sijaitsevan kirjolohen poikasta tuottavan kiertovesilaitoksen ja avomerikasvatuksen yhdistämiseksi. Niin kutsutussa RantaRAS-konseptissa on tarkoitus kasvatata kiertovesilaitoksessa suurempikokoista poikasta avomeriyksikön tarpeisiin, jolloin kirjolohen merikasvatus voidaan lyhentää yhden kasvukauden mittaiseksi. Lisäksi työssä on kartoitettu ja arvioitu kiertovesi- ja avomerikasvatuksen yhdistämisen haasteita sekä konseptin kannattavuutta.

On selvää, että sisämaan poikastuotantoa tullaan tarvitsemaan jatkossakin, jos kalanviljelyn tuotantomääriä halutaan nostaa. Suurten avomeriyksiköiden myötä myös tarve rannikon poikastuotannon lisäämiselle kasvaa. Suomen ympäristölupakäytännöt kuitenkin jarruttavat poikastuotannon lisäämistä rannikolla perinteisissä verkkoaltaissa. Rannikon läheisyydessä sijaitseva kiertovesilaitos mahdollistaisi poikasen tuottamisen merkittävästi pienemmällä ympäristökuormituksella. Suomessa haetuissa kiertovesilaitosten ympäristöluvuissa fosforin ominaispäästön suuruus on ollut noin 70-90 % ja typen ominaispäästö noin 25-75 % pienempi kuin perinteisessä verkkoallaskasvatuksessa. Mikäli fosforin lisäksi voitaisiin typenkin osalta taloudellisesti järkevällä investoinnilla saavuttaa 90 % ravinnereduktio tarkoittaisi tämä sitä, että kiertovesilaitoksessa voitaisiin kasvattaa 10 kertainen määrä poikasta samalla ravinnekuormituksella verkkoallaskasvatukseen nähden. Näin suuri typen reduktio vaatii poistoveden denitrifikaatiota, josta Suomen oloissa on toistaiseksi vain vähän kokemuksia ja käytäntö vaatii vielä pidempää seurantaa sen toimivuuden varmistamiseksi. Rannikon alueilla, joilla poikastuotantoa ei voida ravinnekuormituksesta johtuen lisätä, voisi olla syytä tarkastella vaihtoehtoa, jossa olemassa olevan poikaslaitoksen (verkkoallas) ympäristöluvan sallima ravinnekuorma siirrettäisiin verkkoallaskasvatukseen lähelle rakennettavalle kiertovesilaitokselle. Tällä toimella ravinnekuormitus pysyisi samana, mutta poikastuotanto lisääntyisi merkittävästi. Toimenpide voisi kannustaa kiertovesiviljelyyn siirtymisessä, mikä ajan myötä toisi kehitystä alalle sekä nostaisi viljelymuodon osaamistasoa Suomessa.

Mikäli tuotantotavasta halutaan täysin ravinnepäästötöntä, täytyy kiertovesiviljelijällä olla mahdollisuus kompensoida loppukuormitus muilla keinoin siten, että kompensatio huomioidaan tuotannon nettokuormituksessa. Kompensaatiomenetelmän tulee olla tässäkin tapauksessa taloudellisesti järkevällä tasolla. Kompensaatiomenetelmistä esimerkiksi Itämerirehun käyttäminen tai peltojen kipsaaminen voisivat olla tällaisia toimenpiteitä.

Kiertovesilaitosten määrä sekä niiden koko on kasvanut maailmalla viimeisten vuosien aikana ja esimerkiksi Norjassa yhä suurempi osa lohenoikasesta kasvatetaan kiertovesilaitoksissa, minkä lisäksi poikasen toimituskoko merelle on kasvanut (DNB Markets, 2017, Iversen ym. 2018). Suuremmalla toimituskoolla pyritään lyhentämään merikasvatusaikaa, jolloin norjalainen kasvattaja pystyy hyödyntämään kasvatuslupaansa tehokkaammin sekä pienentämään verkkoallaskasvatukseen liittyviä riskejä, kuten lohitaiteita tai myrskyjen aiheuttamia vahinkoja. Kiertovesiviljelystä on saatu valtavasti uutta tietoa niin akateemisen tutkimuksen kuin yksityisen sektorinkin toimesta, mutta lisääntyneestä tiedosta huolimatta viljelymuodolla on edelleen omat riskinsä. 2010-luvulla on raportoitu useista korkean kalakuolleisuuden tapauksista, jotka ovat johtuneet erityisesti laitoksissa puhjenneista kalataudeista, laiteviasta tai odottamattomista veden laatuongelmista (Taulukko 3).

Yleisesti ottaen kiertovesiviljelyn suurimpana haasteena on pidetty tuotantomenetelmän kannattavuutta. Suuret alkuinvestoinnit sekä suhteellisen korkeat käyttökustannukset verrattuna perinteiseen tuotantoon nostavat kiertovesikasvatetun kalan hintaa. Kirjallisuuden ja haastatteluiden perusteella taloudellisen kannattavuuden rinnalla yhtenä suurena haasteena on niin kutsuttuun henkiseen pääomaan (engl. *human capital*) liittyvät vajeet. Puutteelliset koulutusmahdollisuudet sekä osavan työvoiman vähyyden jarruttavat toistaiseksi niin kiertovesiviljelyn kehitystä kuin yleistymistä. Kannattavan toiminnan edellytyksinä voidaan pitää riskien sekä tuotannonkeskeytysten tai -leikkausten minimoimista.

Lähtökohtina riskien pienentämiseen ovat etenkin laitoksen hyvä bioturvallisuus sekä hyvälaatuinen tulovesi, jota on riittävästi. Haastatteluiden perusteella kiertovesiviljelyn yleistymisen yhtenä hidasteena on Suomessa lisäksi jäykkä ympäristölupakäytäntö. Pitkä lupaprosessi sekä epävarmuudet liit-  
tyen luvan pysymiseen tai lupamääräysten tiukentumiseen toiminnan alettua hankaloittavat osaltaan esimerkiksi rahoituksen turvaamista.

Kiertovesilaitoksen yhdistämistä verkkoallasviljelyyn on tutkittu vähän eikä sen soveltuvuutta Suomen oloissa ole kattavasti selvitetty. Suomen ilmasto asettaa tuotantomenetelmien yhdistämiselle haasteita, sillä verkkoallaskasvatuksen kasvukausi on lyhyt ja tuotanto hyvinkin syklistä vuodenaikavaihtelun takia. Kiertovesikasvatuksessa taas laitteiston ja laitoksen mahdollisimman tehokas hyödyntäminen edellyttää lähtökohtaisesti suhteellisen tasaista tuotantoa, jolloin kalaa valmistuu jatkuvasti. Koska kalaa tuotetaan kiertovesilaitoksessa jatkuvasti, mutta sitä saadaan vietyä merelle vain suhteellisen lyhyen aikaa, täytyy kalaa jollain tavoin varastoida ennen merelle siirtoa.

Suomen oloissa biomassojen hallinta korostuu, koska vuodenaikavaihtelu rajoittaa mm. kalojen siirtoa. Etenkin kalojen varastoinnin järjestäminen ennen merelle siirtämistä oli asia, joka korostui haastatte-  
luissa. Merelle siirtoa odottavan poikasen säilytyksen järjestäminen verkkoaltaissa voi olla ongelmalista niin luvan saannin kuin esimerkiksi kelirikkokaudenkin takia. Yhtenä varteenotettavana vaihtoehtona on läpivirtauksella tai osittaiskierrolla toimivien maa-altaiden hyödyntäminen poikasen säilytyk-  
sessä. Samoja maa-altaita voisi olla mahdollista hyödyntää lisäksi esimerkiksi raikastusaltaina tai alku-  
talvesta teuraskalan säilyttämisessä, jolloin perkuuta voidaan myöhentää ja näin ollen peratusta ka-  
lasta voidaan saada parempi hinta.

Tuotannosuunnittelua hankaloittaa vuodenaikojen lisäksi myös esimerkiksi kotimaisen mädin saata-  
vuus, jota on tarjolla joulukuusta kesäkuuhun. Tuotannon rytmittämiseksi olisi tärkeää, että mätiä saa-  
taisiin vuoden ympäri. Tällöin yhtenä vaihtoehtona on ulkomaisen tautivapaan mädin käyttäminen. Yhtenä epävarmuustekijänä ulkomaisen mädin käytössä kuitenkin liittyy kalan kasvuun Suomen olo-  
suhteissa. Suomessa on jo pitkään jalostettu täällä hyvin kasvavia kantoja, joten samat kasvuoletukset eivät välttämättä toteudu ulkomaisen mädin suhteen. Kiertovesikasvatetun sopeuttaminen ennen me-  
rikasvatusta on myös korostuneessa roolissa. Kokemuksia ja tietoa kiertovesikasvatetun kirjolohenpoi-  
kasan kasvusta merellä on vielä vähän ja aihe vaatii lisätutkimuksia. Sopeuttamisen tarkoituksena on  
taata hyvä kasvu merikasvatusvaiheessa.

Kiertovesikasvatuksen osalta on ensisijaisen tärkeää tunnistaa kasvatustieteen haasteet, mutta myös mahdollisuudet. Toimiessaan oma poikastuotanto voi olla kasvattajalle hyvinkin kannattavaa lii-  
ketoimintaa. Koska poikasen hinta on avomerikasvatuksessa rehun ohella suurin yksittäinen kustan-  
nustekijä, voidaan halvemmalla poikasella saavuttaa merkittäviä säästöjä. Kirjolohenpoikasen tuotan-  
tokustannuksen arvioitiin olevan kiertovesilaitoksessa, tuotantorytmistä riippuen, noin 4,75-5,23 €/kg. Kustannusarvio on selvästi Lasnerin ym. (2017) ilmoittamia arvoja (2,36-2,95 €/kg), mutta vain hieman Kankaisen ym. (2014a) esittämää tuotantokustannusta (4,48 €/kg) suurempi. Esitettyjen laskelmien perusteella avomerikasvattaja voi kuitenkin tehdä kannattavaa liiketoimintaa itse tuotetulla kiertove-  
sikasvatetulla kirjolohen poikasella. Tämä tietenkin edellyttää, että sekä kiertovesilaitoksen että avo-  
meriyksikön suhteen päästään asetettuihin tuotantotavoitteisiin ja ettei tuottajahinta putoa tulevai-  
suudessa merkittävästi.

On selvää, ettei kirjolohen poikasta pystytä vielä tuottamaan aivan yhtä edullisesti kiertovedessä kuin merellä verkkokassissa yhden talven yli säilytettyä poikasta. Vaikka kiertovesikasvatettu poikanen ei täysin pysty kilpailemaan poikasen hinnassa voidaan sillä saavuttaa muita etuja. Itsekasvatetulla poi-  
kasella koko tuotanto on omissa käsissä ja mikäli rannikon poikaskapasiteettia ei pystytä verkkokassi-  
kasvatuksen kautta lisäämään voi kiertovesilaitos tarjota tähän mahdollisuuden. Ostopoikaseen ver-



rattuna ei itse tuotetulla poikasella olla muiden toimijoiden toimitusten varassa, jolloin esimerkiksi kalan määrät, laatu sekä kalan paino tiedetään tarkasti ennen avomerikasvatuksen alkamista. Lisäksi kalojen lajittelulla kiertovesikasvatuksen aikana sekä ennen maa-allassäilytystä voidaan verkkokasseihin saada tasakokoisempaa kalaa.

Kiertovesilaitoksen sijaitessa lähellä avomerilaitosta voidaan ajallisestikin saavuttaa merkittäviä säästöjä, jolloin koko merikasvatuskausi saadaan hyödynnettyä. Mikäli avomerilaitoksen vaatima 270 tonnia poikasta joudutaan tuomaan kauempaa kuljetusautolla, jonka elävän kalan kuljetuskapasiteetti on 6 tonnia, tarkoittaa tämä 45 kuormaa. Jos päivän aikana voidaan ajaa esimerkiksi 3 kuormaa, vaatii poikasten kuljetus 15 vuorokautta. Lisäksi voi olla, että sääolosuhteet eivät ole heti poikasten toimituksen alkaessa otolliset kalojen siirrolle rannasta avomerelle, joka myöhentää kasvatuksen aloitusta entisestään.

Tutkimuksen aikana sekä haastatteluiden pohjalta nousi esiin useita lisäselvitystarpeita, joihin tulisi tulevaisuudessa ohjata lisää tutkimusta. Kuten jo aiemmin mainittu kalan sopeuttaminen kiertovetestä merikasvatukseen vaatii lisätutkimuksia. Tutkimuksen tulisi tarkastella, miten sopeuttamisjakson pituus tai olosuhteet vaikuttavat kalan kasvunopeuteen, sukukypsymiseen tai kuolleisuuteen merikasvatusvaiheessa. Huomionarvoisia muuttujia sopeuttamisen tutkimisessa ovat ainakin sopeuttamisjakson pituus, sopeutuslämpötila sekä mahdollisesti valaistuksen vaikutus. Myös mahdollisuutta kalan sopeuttamiseen jo kiertovesilaitoksessa muuttamalla kasvatusaltilaiden vedenlaatua tai valaistuksen ja ruokinnan vuosirytmiväoiksi olla hyvä selvittää. Olisi myös hyödyllistä tietää voiko poikasen kiertovesikasvatus ohjata kalojen sukukypsymistä, joko hyödylliseen tai haitalliseen suuntaan. Lisäksi tutkimus kiertovesikasvatetun kalan siirrosta lähes nolla-asteiseen veteen –hyödyttää elinkeinoa ja tällaisia tutkimuksia onkin jo aloitettu (Koskela ym., 2019).

Eri kantojen soveltuvuudesta tällaiseen uuteen tuotantorytmiin ei ole tietoa, vaikkakin Luke on aloittanut JALO-kannan kasvatuskokeet kiertovesiympäristössä. Tämän lisäksi myös kiertovesiviljelyn aikana kaloille tulleista rakenteellisista sopeutumista sekä niiden mahdollisista vaikutuksista kasvuun olisi tärkeää saada lisää tietoa.

Tuotannonsuunnitteluun liittyen alalla voisi olla tarvetta hyvälle tuotannonsuunnittelun työkaluille, joiden avulla esimerkiksi biomassojen laskeminen ja visualisointi tuotannon eri vaiheissa selkeytyisi. Entistä parempi olisi, mikäli työkalulla voisi helposti laskea laitoksen allas- ja laitteistotarvetta. Niin maailmalla kuin Suomessakin kiertovesiviljelyn kustannuksenmuodostuksesta sekä energiatarpeesta on saatavilla vain vähän tietoa ja sitä olisi syytä tutkia tarkemmin. Lisäksi tuotannonsuunnittelussa tulisi arvioida vaihtoehtoisia tuotantorytmejä.

## Kiitokset

Työn tekijät haluavat ilmaista vilpittömät kiitokset kaikille, jotka ovat osallistuneet tätä työtä varten tehtyihin haastatteluihin. Haastatteluista saatu arvokas tieto osoitti, että kiertovesiviljelyssä Suomessa kamppaillaan samojen kysymysten äärellä kuin maailmalla yleensäkin ja että laaja-alaista lisätutkimusta tarvitaan jatkossakin.

## Viitteet

- Aarnipuro, Y. 2004. Kalanviljelyn laitostekniikka Suomessa–Tuloveden johtaminen ja käsittely. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.
- Arvonen, K. 2017. Kalankasvatustalouden ympäristöhakemus. Finnforel Oy. 25.4.2017. 24 s. Haettu 25.10.2017 osoitteesta [https://tietopalvelu.ahelp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite\\_ID=3680119](https://tietopalvelu.ahelp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite_ID=3680119).
- Atlantic Sapphire. 2018. Company presentation. March. <http://otc.nfmf.no/public/news/17522.pdf>
- Badiola, M., Mendiola, D., & Bostock, J. 2012. Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*, 51, 26-35.
- Bergheim, A., Brinker, A., 2003. Effluent treatment for flow through systems and European Environmental Regulations. *Aquaculture Engineering* 27, 61–77.
- Bjørndal, T. & Tusvik, A. 2017. Land based farming of salmon: economic analysis. NTNU Norwegian University of Science and Technology, Ålesund. Department of International Business. Working paper series No. 1/2017. 139 s. + liitteet.
- Bostock, J., Fletcher, D., Badiola, M., & Murray, F. 2018. An update on the 2014 report: " Review of Recirculation Aquaculture System Technologies and their Commercial Application". Final Report for Highlands and Islands Enterprise RAS Lot 1 002. EKOS Limited. Glasgow. 67 s. + liitteet.
- Bredenberg, F. 2016. Fiskdöd på Fifax. Nya Åland. 18.10.2016. <https://www.nyan.ax/nyheter/fiskdod-pa-fifax/>.
- Bregnballe, J. 2015. A Guide to Recirculation Aquaculture: An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and EUROFISH International Organisation. 91 s. + liitteet.
- Bylund, G. & Fagerholm, H.-P. 1985. Kalataudit. Valtion painatuskeskus, Helsinki. 93 + liitteet. ISBN 951-859-741-3.
- Cho, C. Y. & Cowey, C. 1991. Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. Teoksessa Wilson, R. P. (toim.) *Handbook of Nutrient Requirements of Finfish* (s. 131-144). Crc Press.
- Cowx, I. G. 2005. Cultured Aquatic Species Information Programme *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). Teoksessa: *FAO Fisheries and Aquaculture Department* [online]. Haettu 1.10.2019 osoitteesta [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus\\_mykiss/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/en).
- Davidson, J., Schrader, K., Ruan, E., Swift, B., Aalhus, J., Juarez, M., Wolters, W., Burr, G. & Summerfelt, S. T. 2014. Evaluation of depuration procedures to mitigate the off-flavor compounds geosmin and 2-methylisoborneol from Atlantic salmon *Salmo salar* raised to market-size in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural engineering*, 61, 27-34.
- Dinneen, C., Robinson, G., Ullstrom, G., Hobson, E. & Mrozewski, J. 2016. 'Namgis Land-Based Atlantic Salmon Recirculating Aquaculture System Pilot Project. Kuterra performance metrics to June 30, 2016. Haettu 17.10.2019 osoitteesta [http://kuterra.com/files/1614/8064/9419/Kuterra\\_performance\\_metrics\\_to\\_16\\_06\\_30.pdf](http://kuterra.com/files/1614/8064/9419/Kuterra_performance_metrics_to_16_06_30.pdf).
- DNB Markets. 2019. Seafood –special report: A deeper-dive into land-based farms. EQUITY RESEARCH: Research report prepared by DNB Markets, a division of DNB Bank ASA. 41 s.
- DNB Markets. 2017. Seafood –special report: Deep dive into land-based farming. EQUITY RESEARCH: Research report prepared by DNB Markets, a division of DNB Bank ASA. 61 s.
- Enlund, T. & Niemi, P. 2019. Jätti-investointi Heinolaan: vanhaan aaltopahvitehtaaseen Manner-Suomen suurin kalankasvatustalouden YLE Uutiset. 8.5.2019. <https://yle.fi/uutiset/3-10772213>.
- Espinal, C. A. & Matulić, D. 2019. Recirculating Aquaculture Technologies. Teoksessa Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B. & Burnell, G. M. (toim.). *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*. (s. 35-76). Springer Nature Switzerland AG
- Evira. 2016. Vesiviljelylaitosten valvontaopas. Tarkastus ja näytteenotto-ohje vesiviljelylaitoksia valvoville eläinlääkäreille. Eläinten terveys ja hyvinvointi -yksikkö. 24 s.
- Ernst & Young. 2018. The Norwegian aquaculture analysis 2017. 37 s.

- Finstad, B., Staurnes, M., & Reite, O. B. 1988. Effect of low temperature on sea-water tolerance in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 72(3-4), 319-328.
- Fletcher, G. L., Kao, M. H., & Dempson, J. B. 1988. Lethal freezing temperatures of Arctic char and other salmonids in the presence of ice. *Aquaculture*, 71(4), 369-378.
- Hartman, K. J., & Porto, M. A. 2014. Thermal performance of three rainbow trout strains at above-optimal temperatures. *Transactions of the American Fisheries Society*, 143(6), 1445-1454.
- Heldbo, J. 2014. Recirculated Aquaculture Systems: Advantages & Disadvantages. Good Practice Workshop, 2014, Copenhagen, Denmark. Esitelmä. Haettu 22.10.2019 osoitteesta [https://circabc.europa.eu/Presentation\\_4\\_Jesper\\_Heldbo\\_EU\\_Baltic\\_Recirculated\\_Aquaculture.pdf](https://circabc.europa.eu/Presentation_4_Jesper_Heldbo_EU_Baltic_Recirculated_Aquaculture.pdf).
- Helin, J. & Salonen, V. 2019. 1) Koeluonteinen kalankasvatustoiminta Kihdin pohjoisosassa Lanskerin länsipuolella, Kustavi; 2) Vesilain mukainen lupa koetoimintaan liittyville rakenteille, Kustavi. Etelä-Suomen aluehallintoviraston päätös Nro 232/2019 & 233/2019. Dnro ESAVI/15436/2019 & ESAVI/15475/2019. Annettu julkipanon jälkeen 12.6.2019. Haettu 9.12.2019 osoitteesta [https://tietopalvelu.ahp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite\\_ID=6058459](https://tietopalvelu.ahp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite_ID=6058459).
- Hjeltnes B, Bang-Jensen B, Bornø G, Haukaas A, Walde C S (toim.). 2019. The Health Situation in Norwegian Aquaculture 2018. Norwegian Veterinary Institute report series nr 6b/2019.
- Hjul, J. 2017. Hope in salmon RAS pilot despite fish loss. *Fish Farmer Magazine*. 9.11.2017. <https://www.fishfarmermagazine.com/news/hope-salmon-ras-pilot-despite-fish-loss/>.
- Hyttinen, K. 2016. Suomen ensimmäinen kaviaaritehdas kaatui rahoitusvaikeuksiin – "työttömiksi" jääneet sammet jaettiin henkilökunnalle. *MTV Uutiset*. 7.7.2016. <https://www.mtv- uutiset.fi/artikkeli/suomen-ensimmainen-kaviaaritehdas-kaatui-rahoitusvaikeuksiin-tyottomiksi-jaaneet-sammet-jaettiin-henkilokunnalle/5977922>.
- Iversen, A., Hermansen, Ø., Nystøyl, R., Marthinussen, A., & Garshol, L. D. 2018. Kostnadsdrivere i oppdrett 2018, fokus på smolt og kapitalbinding. *Nofima rapportserie*. 42 p.
- Jackson, A. J. 1981. Osmotic regulation in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) following transfer to sea water. *Aquaculture*, 24, 143-151.
- Jeffery, K., Stinton, N., & Ellis, T. 2011. FES220: A review of the land-based, warm-water recirculation fish farm sector in England and Wales. Centre for Environment, Fisheries & Aquaculture Science. CEFAS contract report C3529. 48 s.
- Jobling, M. 2003. The thermal growth coefficient (TGC) model of fish growth: a cautionary note. *Aquaculture research*, 34(7), 581-584.
- Joki, N. 2019. Kaskisten selvitys kalankasvatuksesta pääsemässä käyntiin. *YLE Uutiset*. 27.11.2019. <https://yle.fi/uutiset/3-11088159>.
- Juntunen, A.-M. & Haurinen, T. 2017. Isomatalan-Laitakarin kalankasvatustiloksen ympäristö- ja vesitalous- lupa sekä toiminnan aloittaminen muutoksenhausta huolimatta ja valmistelulupa, Oulu ja Ii. Pohjois-Suomen aluehallintoviraston päätös Nro 32/2017/1. Dnro PSAVI/1977/2016. Annettu julkipanon jälkeen 10.5.2017. Haettu 28.8.2019 osoitteesta [https://tietopalvelu.ahp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite\\_ID=3143723](https://tietopalvelu.ahp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite_ID=3143723).
- Kaneko, T., Suzuki, R., Watanabe, S., Miyanishi, H., Matsuzawa, S., Furihata, M., & Ishida, N. 2019. Past seawater experience enhances subsequent growth and seawater acclimability in a later life stage in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Fisheries Science*, 85(6), 925-930.
- Kankainen, M. 2014. Simplified profitability analysis model for fish farming. An Excel spreadsheet made under the AQUABEST -project. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.
- Kankainen, M., Vielma, J., Koskela, J., Niukko, J. & Niskanen, L. 2020. Olosuhteiden vaikutus kirjolohen kasvatuksen tehokkuuteen Suomen merialueilla. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 28/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki.
- Kankainen, M., Nielsen, P., & Vielma, J. 2014a. Economic feasibility tool for fish farming: case study on the Danish model fish farm in Finnish production environment. Reports of Aquabest project 24/2014. Finnish Game and Fisheries Research Institute, Helsinki. 23 s.

- Kankainen, M. & Niukko, J. 2014. Kalankasvatuksen tuotanto-olosuhteet Suomen rannikolla. Riista- ja kalatalous – Tutkimuksia ja selvityksiä 8/2014. 40s.
- Kankainen, M., Vielma, J. & Niukko, J. 2014b. Kalankasvatuksen avomeritekniikat ja niiden soveltuvuus Suomeen. Riista- ja kalatalous – Tutkimuksia ja selvityksiä 11/2014. 34 s.
- Kasvio, P., Ulvi, T., Koskiahho, J., & Jormola, J. 2016. Kosteikkojen ja biosuodatusalueiden toimivuus hulevesien käsittelyssä - HULE-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7/2016. 47 s.
- Ketonen, P. 2020. Vanhan tehtaan uumeniin suunnitellaan kalankasvatuslaitosta - tulossa jotain muuta kuin perinteistä kirjolohta. YLE Uutiset. 4.6.2020. <https://yle.fi/uutiset/3-11373154>.
- Kiuru, T. 2017. Katsaus uusiin kiertovesiprojekteihin maailmalla. Kalatalouden innovaatiopäivät 2017. Esitys Tampereella 10.11.2017. Haettu 18.10.2019 osoitteesta <https://www.kalankasvatus.fi/wp-content/uploads/2018/01/Tapio-Kiuru.pdf>.
- Koskela, J., Vielma, J. & Pirhonen, J. 2019. Kalojen siirrot kiertovedestä kylmään veteen. Esitys Kalankasvattajaliiton kesäpäivät, Laukaa. 12.6.2019. Haettu [https://www.kalankasvatus.fi/wp-content/uploads/2019/09/Kalojen siirrot kiertovedestä kylmään veteen.pdf](https://www.kalankasvatus.fi/wp-content/uploads/2019/09/Kalojen_siirrot_kiertovedestä_kylmään_veteen.pdf).
- Lasner, T., Brinker, A., Nielsen, R., & Rad, F. 2017. Establishing a benchmarking for fish farming– Profitability, productivity and energy efficiency of German, Danish and Turkish rainbow trout grow-out systems. Aquaculture research, 48(6), 3134-3148.
- Lekang, O.I. 2007. Aquaculture Engineering. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK. 354 s.
- Leppänen, T., Anttila, J., Lind, V., Haapasalo, H., Ulvi, T., Rytönen, A-M., Ihme, R., Vehviläinen, H., Jokinen, K., Kankainen, M. ja Vielma, J. 2018. Kalankasvatuksen ympärille rakennettava yritysökosysteemi – SIBE-projektin tapaustutkimus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 3/2018. Helsinki. 54 s.
- Lindberg-Lumme, P. 2019. Norjan suljetut- ja puolisoljetut yksiköt – oppia Suomeen? Kalatalouden innovaatiopäivät 2019. Esitys Vantaalla 8.11.2019. Haettu 9.12.2019 osoitteesta <https://merijakalatalous.fi/wp-content/uploads/Lia-Lindberg-Lumme-Norjan-suljetut-ja-puolisuljetut-yksik%C3%B6t-oppia-Suomeen.pdf>.
- Lindholm-Lehto, P.C. & Vielma, J. 2019. Controlling of geosmin and 2-methylisoborneol induced off-flavours in recirculating aquaculture system farmed fish - A review. Aquaculture Research, 50, 9-28.
- Liu, Y., Rosten, T. W., Henriksen, K., Hognes, E. S., Summerfelt, S., & Vinci, B. 2016. Comparative economic performance and carbon footprint of two farming models for producing Atlantic salmon (*Salmo salar*): Land-based closed containment system in freshwater and open net pen in seawater. Aquacultural Engineering, 71, 1–12.
- Lundberg, M. 2017. Fifax drabbad av fiskdöd igen. Ålands radio. 20.11.2017. <https://alandsradio.ax/nyheter/fifax-drabbad-fiskdod-igen>.
- Luonnonvarakeskus. n.d. Kalan kiertovesikasvatus. Haettu 28.11.2019 osoitteesta <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/kalat-ja-kalatalous/kalanviljely/kalan-kiertovesikasvatus/>.
- Luonnonvarakeskus. 2019a. Tilastotietokanta. Ruokakalantuotanto (perkaamatonta kalaa 1 000 kg) ja nimellisarvo (milj. e, sisältää mädin arvon). [http://statdb.luke.fi/Ruoka-kalantuotanto \(perkaamatonta kalaa 1 000 kg\) ja nimellisarvo \(milj. e, sisältää mädin arvon\)](http://statdb.luke.fi/Ruoka-kalantuotanto_perkaamatonta_kalaa_1_000_kg_ja_nimellisarvo_milj_e_sisältää_mädin_arvon).
- Luonnonvarakeskus. 2019b. Tilastotietokanta. Vesiviljelyn kannattavuus. <https://statdb.luke.fi/Vesiviljelyn-kannattavuus>.
- Luonnonvarakeskus. 2020. Tilastotietokanta. Kalan tuottajahinnat (e/kg, nimellishinta ilman arvonlisäveroa). [https://statdb.luke.fi/Kalan tuottajahinnat \(e/kg, nimellishinta ilman arvonlisäveroa\)](https://statdb.luke.fi/Kalan_tuottajahinnat_e/kg_nimellishinta_ilman_arvonlisäveroa).
- Lyytikäinen, T., Vehmas, T., & Vennerström, P. 2007. Kalojen VHS-taudin sisävesistöihin leviämiseen vaikuttavia tekijöitä ja toimintatapoja. Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. Eviran tutkimuksia 4/2007. 69 s.
- Meriac, A. 2019. Smolt production and the potential for solid waste collection in Norway. Nofima. Report 25/2019. 13 s.

- Moore, G. 2018. Oxygen fault killed 500,000 smolts at new hatchery, reveals Marine Harvest. FishFarmingExpert, 4.10.2018. <https://www.fishfarmingexpert.com/article/oxygen-fault-killed-500000-smolts-at-new-hatchery-reveals-marine-harvest/>.
- Muhonen, J., Juola, M., Kilpinen, K., Kirjavainen, E., Kovisto, K., Kosunen, K., Pasanen, P., Puhakka, O. & Rimaila-Pärnänen, E. 2003. Kalataloudellisten istutus- ja maksuvelvoitteiden toimeenpanoa ohjeistavan työryhmän raportti. Työryhmämuistio MMM 2003:12. Helsinki. ISBN 952-453-123-2. 55 s. + liitteet.
- Murray, F., Bostock, J., & Fletcher, D. 2014. Review of recirculation aquaculture system technologies and their commercial application. Final report March 2014. Stirling Aquaculture. 74 s. + liitteet.
- Mustajärvi, V. 1999. Kalanviljelytekniikka. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kala- ja riistaraportteja 160. 118 p.
- Mutter, R. 2020. Thousands of fish dead at Atlantic Sapphire land-based salmon farm. IntraFish, 2.3.2020. <https://www.intrafish.com/aquaculture/thousands-of-fish-dead-at-atlantic-sapphire-land-based-salmon-farm/2-1-765004>.
- Naukkarinen, M. 1981. Kalanviljelystä ja kalaviljelylaitoksen vesityksen suunnittelusta. Vesihallituksen monistesarja 1981:87.
- North, B. P., Turnbull, J. F., Ellis, T., Porter, M. J., Migaud, H., Bron, J., & Bromage, N. R. 2006. The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 255(1-4), s. 466-479.
- Ojala, H. 2018. Kun kuhasta ovat jäljellä vain muistot — Kurkisuon kuhankasvattamosta ei riittänyt varoja edes konkurssiin. Uutisvuoksi. 3.3.2018. <https://uutisvuoksi.fi/uutiset/lahella/a681c34b-2333-4a53-a295-2d80acc33cd>.
- Olsen, B. H. n.d. Introduction to Recirculation Aquaculture. Esitelmä. Haettu 22.10.2019 osoitteesta [http://www.fao.org/fileadmin/templates/SEC/docs/Fishery/Fisheries\\_Events\\_2012/Recirculation/RAS\\_3\\_of\\_5\\_Billund\\_Aquaculture\\_-\\_Izmir\\_2010.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/SEC/docs/Fishery/Fisheries_Events_2012/Recirculation/RAS_3_of_5_Billund_Aquaculture_-_Izmir_2010.pdf).
- Olsen, S. 2017a. Report: Marine Harvest uncertain on why 140,000 fish died. SalmonBusiness. 11.12.2017. <http://salmonbusiness.com/report-marine-harvest-uncertain-on-why-140000-fish-died/>.
- Olsen, S. 2017b. Over 700,000 smolt died at Marine Harvest plant. SalmonBusiness. 14.11.2017. <https://salmonbusiness.com/over-700000-smolt-died-in-october-at-marine-harvest-plant/>.
- O'Shea, T., Jones, R., Markham, A., Norell, E., Scott, J., Theuerkauf, S., and T. Waters. 2019. Towards a Blue Revolution: Catalyzing Private Investment in Sustainable Aquaculture Production Systems. The Nature Conservancy and Encourage Capital, Arlington, Virginia, USA. 163 s.
- Partanen, P. (toim.) 1998. Kalankasvatus ja vesiensuojelu. Työryhmän selvitys. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 128. 100 s. + liitteet.
- Pattillo, D. A. 2014. Water Quality Management for Recirculating Aquaculture. Extension and Outreach Publication. Iowa State University. 10 p. Retrieved from [https://lib.dr.iastate.edu/extension\\_pubs/230](https://lib.dr.iastate.edu/extension_pubs/230).
- Pohjois-Karjalan ELY-keskus. 2008. Istuta harkiten! -opas. 16 s. Haettu 2.12.2019 osoitteesta <https://ely-keskus.fi/documents/10191/58195/Istuta+harkiten%21%20POK.pdf/81078a15-110c-4147-9b17-20d215d7ae09>.
- Rahkonen, R., Vennerström, P., Rintamäki, P. & Kannel, R. 2012. Terve kala: Tautien ennaltaehkäisy, tunnistus ja hoito. Toinen tarkistettu painos. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki. 140 s.
- Raisioaqua. 2018. Kirjoloheen ruokintataulukko. Haettu 4.9.2019 osoitteesta <https://www.raisioaqua.com/ruokinta>.
- Robinson, G. & Wright, A. 2013. LAND-BASED AQUACULTURE. Information sharing for developers of recirculating aquaculture systems (RAS). Development costs of two operating facilities employing RAS. Kuterra LP and Taste of BC. 71 s.
- Rohaas, B. 2014. The challenges of producing land-based salmon to harvest size at Langsand Laks. Esitelmä, 3rd Fremtidens Smoltproduksjon Conference. 22.10.2014. <http://www.smoltproduksjon.no/Bilder/TidlKonf%202014/Bram%20Rohaas%20Langsand%20Laks.pdf>.

- Rummukainen, A. 2015. Kuka tulisi kaviaaritehtaan tiloihin llomonsiiin? – Uutta toimijaa etsitään. YLE Uutiset. 16.11.2015. <https://yle.fi/uutiset/3-8436480>.
- Salminen, M., & Böhling, P. (toim.) 2002. Kalavedet kuntoon. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki. 262 s. + liitteet.
- Sandvold, H. N., Gregg, J. S., & Olsen, D. S. 2019. 8 New pathways for organic waste in land-based farming of salmon: The case of Norway and Denmark. Teoksessa Klitkou, A., Fevolden, A. M. & Capasso, M. (toim.) *Waste to Value: Valorisation Pathways for Organic Waste Streams in Circular Bioeconomies* (s. 145-161). Taylor & Francis.
- Scholander, P. F., Van Dam, L., Kanwisher, J. W., Hammel, H. T., & Gordon, M. S. 1957. Supercooling and osmoregulation in Arctic fish. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 49(1), 5-24.
- Seppälä, J., Silvenius, F., Grönroos, J., Mäkinen, T., Silvo, K., & Storhammar, E. 2001. Kirjoloihen tuotanto ja ympäristö. Suomen ympäristö 529. 164 s.
- Setälä, J., Kankainen, M., Suomela, J., & Tarkki, V. 2014. Vesiviljelyn sijainninhjaussuunnitelman ympäristöselostus. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. RKTL:n työraportteja 24/2014. 75 s.
- Silvenius, F. 2000. Kalankasvatus ja ympäristönsuojelu – Kalankasvatuksen prosessikuvaus. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. *Kala- ja riistaraportteja 198*. 80 s.
- Summerfelt, S., Bebak-Williams, J., & Tsukuda, S. 2001. Controlled systems: Water Reuse and Recirculation. Teoksessa G. Wedermeyer (toim.) *Fish Hatchery Management*, 2. painos. American Fisheries Society, Bethesda, MD. s. 285-395.
- Summerfelt, S. & Terjesen, B. F. 2019. A look ahead. Hatchery International. Haettu 9.10.2019 osoitteesta <https://www.hatcheryinternational.com/a-look-ahead-3303/>.
- Summerfelt, S., Waldrop, T., Good, C., Davidson, J., Backover, P., Vinci, B., & Carr, J. 2013. Freshwater Growout Trial of St John River Strain Atlantic Salmon in a Commercial-scale, Land-based, Closed-containment System. A Publication of the Atlantic Salmon Federation and the Conservation Fund. 16 s.
- Svobodová, Z., Lloyd, R., Máchová, J. & Vykusová, B. 1993. Water quality and fish health. EIFAC Technical Paper. No. 54. Rome, FAO. 59 s.
- Timmons, M. B., Guerdat, T. & Vinci, B. J. 2018. *Recirculating aquaculture* (4th ed.). Ithaca, NY: Ithaca Publishing Company LLC.
- Warrer-Hansen, I. 2015. Potential for Land Based Salmon Grow-out in Recirculating Aquaculture Systems (RAS) in Ireland. A report to The Irish Salmon Grower's Association. IFA Aquaculture. 57 s. Haettu 17.10.2019 osoitteesta <http://www.ifa.ie/wp-content/uploads/2015/09/Land-based-report-IWH-final-Aug-2015.pdf>.
- Woodbury, R. 2018. Virus at 2 Nova Scotia land-based fish facilities results in 600,000 salmon being killed. CBC News, 1.3.2018. <http://www.cbc.ca/news/canada/nova-scotia/nova-scotia-infectious-salmon-anemia-1.4557629>.
- Ympäristöministeriö. 2013. Kalankasvatuksen ympäristönsuojeluohje. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2013. 75 s.
- Ympäristönsuojelulaki, L. 27.6.2014/527, 2014. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140527>.



## Liite A: Kasvumallissa käytetyt ruokintataulukot



1-11-2019

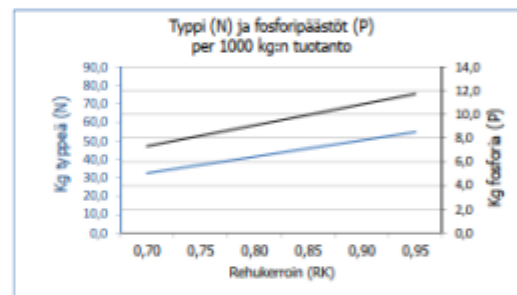
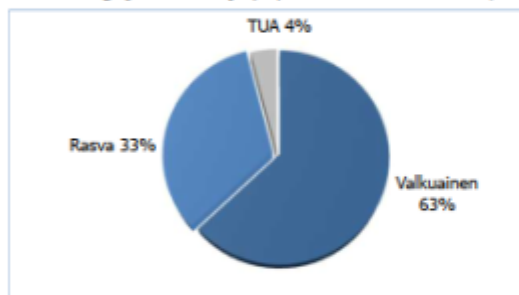
INICIO Plus

KIRJOLOHI

Vakuustodistus		0,5 mm	0,8 mm	1,1 mm	1,5 mm	2 mm
Raakavalkuainen	%	58	56	56	54	52
Raakarasva	%	15	18	18	21	24
Hiilihydraatit (TUA)	%	7	9	9	7	13
Raakakuitu	%	0,1	0,1	0,3	0,4	1,0
Tuhka	%	11,3	11,3	10,8	11,0	7,6
Kokonaisfosfori (P)	%	1,8	1,8	1,7	1,5	1,2
Kokonaisenergia	MJ/kg	21,6	21,8	22,0	22,9	23,6
Sulava energia	MJ/kg	19,3	19,3	19,3	20,0	20,7

## Energijakauma

Tiedot energijakaumasta ja ympäristöluvusta koskevat 0,8 mm



Tuotetiedoissa ilmoitettavat arvot voivat vaihdella riippuen valmistavasta tehtaasta ja raaka-aineiden luonnollisista vaihteluista johtuen. Lisätietoja sekä todelliset arvot ja ainesosat löytyvät etiketistä. Etiketti on tuotteessa EU lainsäädännön mukaisesti. Tuote sisältää probioottia.

## Ohjeelliset ruokintataulukot (kg rehua päivässä/100 kg kalaa)

Alhaisin mahdollinen rehukerroin – käytetään kun halutaan saavuttaa mahdollisimman hyvä rehun hyötysuhde

g	Kalan koko		Raekoko	Rehukerroin											
	cm	mm		2°C	4°C	6°C	8°C	10°C	12°C	14°C	16°C	18°C	20°C		
0,2 - 0,4	3 - 4	0,5	1,21	1,43	1,78	2,05	2,62	3,23	3,48	3,59	3,46	2,91			
0,4 - 1,5	4 - 5	0,8	1,08	1,27	1,59	1,84	2,35	2,90	3,13	3,23	3,11	2,60			
1,5 - 5	5 - 8	1,1	0,94	1,11	1,39	1,61	2,06	2,54	2,74	2,83	2,72	2,28			
5 - 15	8 - 11	1,5	0,76	0,90	1,13	1,30	1,67	2,07	2,23	2,31	2,22	1,85			
15 - 30	11 - 15	2	0,63	0,74	0,93	1,08	1,38	1,71	1,84	1,91	1,83	1,53			
30 - 50	15 - 16	2	0,58	0,68	0,85	0,99	1,27	1,57	1,69	1,75	1,68	1,41			

Optimaalinen ruokinta – käytetään kun halutaan saavuttaa optimaalinen suhde suuren tuotannon ja hyvän rehun hyödyntämisen välillä

g	Kalan koko		Raekoko	Rehukerroin											
	cm	mm		2°C	4°C	6°C	8°C	10°C	12°C	14°C	16°C	18°C	20°C		
0,2 - 0,4	3 - 4	0,5	1,47	1,71	2,12	2,81	4,10	5,71	6,83	7,58	7,19	3,96			
0,4 - 1,5	4 - 5	0,8	1,29	1,50	1,86	2,47	3,61	5,06	6,08	6,76	6,41	3,49			
1,5 - 5	5 - 8	1,1	1,10	1,28	1,59	2,12	3,11	4,37	5,27	5,87	5,56	2,99			
5 - 15	8 - 11	1,5	0,87	1,02	1,26	1,69	2,48	3,49	4,22	4,71	4,46	2,39			
15 - 30	11 - 15	2	0,70	0,82	1,02	1,37	2,01	2,84	3,44	3,84	3,63	1,93			
30 - 50	15 - 16	2	0,64	0,75	0,93	1,24	1,83	2,58	3,13	3,49	3,30	1,76			

Ruokinta sopeutetaan valittuun tuotantostrategiaan ja vallitseviin kasvatusolosuhteisiin.

Rehu tulee varastoida kuivassa ja viileässä paikassa, suojattuna suoralta auringonvalolta ja haittaeläimiltä.

BioMar A/S - Mylius-Erichsensvej 35 - DK-7330 Brande - Puh. +45 97 18 07 22 - info@biomar.dk - www.biomar.fi

(0,84 - 1,3)



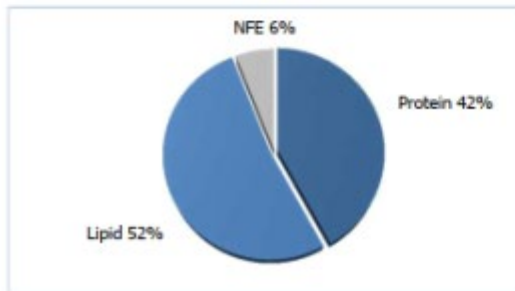


8-3-2018

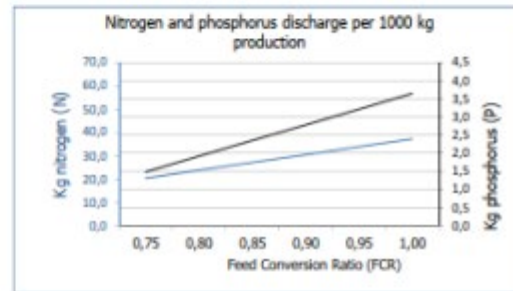
**EFICO Enviro 920 Advance** **TROUT**

Declaration		3 mm	4,5 mm	6 mm
Crude protein	%	43-46	41-44	38-41
Crude lipid	%	30-33	28-31	32-35
Carbohydrates (NFE)	%	12-15	13-16	14-17
Crude Fiber	%	0,8-2,4	0,7-2,2	0,9-2,8
Ash	%	4-7	4-7	4-7
Total phosphorus (P)	%	0,9	0,9	0,9
Gross energy	MJ/kg	23-27	23-27	24-27
Digestible energy	MJ/kg	21,7	21,8	22,1

**Energy distribution**



**Ecological value**



Values stated on the datasheet can vary depending on producing factory and natural variations in raw materials. More information and actual values and ingredients, can be found on the label\*.

The information on energy distribution and ecological values applies to 4,5 mm Feed formulation is based on BioMar's Performance Concept. Please visit our website for more information on the Performance Concept and for the product description.

**Feeding guides (kg feed per 100 kg fish per day)**

Lowest possible feed conversion rate – to be used when optimal feed utilisation is required

Fish size		Pellet size													
gram	cm	mm		2°C	4°C	6°C	8°C	10°C	12°C	14°C	16°C	18°C	20°C		
50 - 100	16 - 21	3		0,51	0,60	0,75	0,87	1,11	1,38	1,49	1,54	1,48	1,23		
100 - 200	21 - 26	4,5		0,46	0,55	0,68	0,79	1,01	1,25	1,36	1,40	1,35	1,12		
200 - 300	26 - 29	4,5		0,42	0,50	0,62	0,72	0,92	1,14	1,24	1,28	1,23	1,02		
300 - 450	29 - 33	4,5		0,38	0,45	0,57	0,66	0,84	1,04	1,13	1,16	1,12	0,93		
450 - 600	33 - 36	6		0,36	0,42	0,53	0,61	0,79	0,98	1,06	1,09	1,05	0,87		
600 - 800	36 - 40	6		0,34	0,41	0,51	0,59	0,75	0,93	1,01	1,04	1,00	0,84		
800 - 1000	40 - 43	6		0,32	0,38	0,47	0,55	0,70	0,87	0,94	0,97	0,93	0,78		

Optimal feeding – to be used when an optimal relation between large production and good feed utilisation is required

Fish size		Pellet size													
gram	cm	mm		2°C	4°C	6°C	8°C	10°C	12°C	14°C	16°C	18°C	20°C		
50 - 100	16 - 21	3		0,56	0,65	0,81	1,08	1,59	2,25	2,73	3,05	2,88	1,53		
100 - 200	21 - 26	4,5		0,50	0,58	0,73	0,97	1,43	2,03	2,46	2,75	2,60	1,38		
200 - 300	26 - 29	4,5		0,45	0,53	0,66	0,88	1,30	1,83	2,23	2,49	2,35	1,25		
300 - 450	29 - 33	4,5		0,41	0,48	0,59	0,80	1,18	1,66	2,02	2,26	2,13	1,13		
450 - 600	33 - 36	6		0,38	0,45	0,56	0,75	1,10	1,56	1,89	2,12	2,00	1,06		
600 - 800	36 - 40	6		0,37	0,43	0,53	0,71	1,06	1,49	1,81	2,03	1,92	1,01		
800 - 1000	40 - 43	6		0,34	0,40	0,50	0,66	0,98	1,39	1,69	1,89	1,78	0,94		

Feeding should be adapted to the chosen production strategy and current farming conditions.

Recommended storage of feed is in dry and cool place, protected from direct sunlight and pests.

BioMar A/S - Mylius-Erichsensvej 35 - DK-7330 Brande - Phone +45 97 18 07 22 - info@biomar.dk - www.biomar.dk

(0,84 - 1,3)

\*The label can be found on the product itself as mandated by EU Regulation.

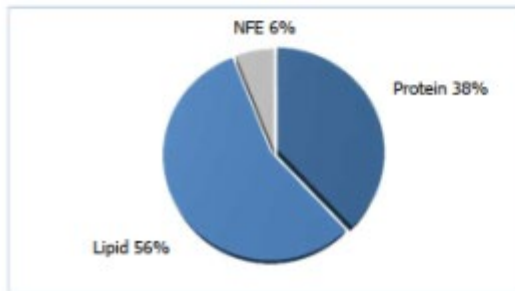


17-5-2018

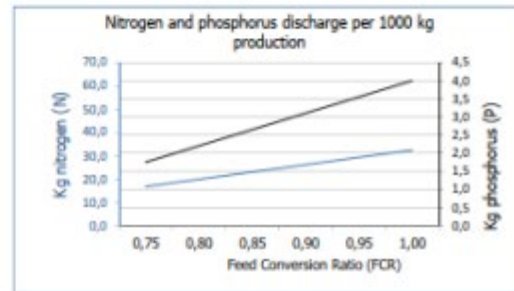
**EFICO Enviro 920 Advance TROUT**

Declaration		8 mm
Crude protein	%	38-41
Crude lipid	%	32-35
Carbohydrates (NFE)	%	14-17
Crude Fiber	%	0,9-2,8
Ash	%	4-7
Total phosphorus (P)	%	0,9
Gross energy	MJ/kg	24-27
Digestible energy	MJ/kg	22,1

**Energy distribution**



**Ecological value**



Values stated on the datasheet can vary depending on producing factory and natural variations in raw materials. More information and actual values and ingredients, can be found on the label\*.

The information on energy distribution and ecological values applies to 8 mm  
Feed formulation is based on BioMar's Performance Concept. Please visit our website for more information on the Performance Concept and for the product description.

**Feeding guides (kg feed per 100 kg fish per day)**

Lowest possible feed conversion rate – to be used when optimal feed utilisation is required

gram	Fish size		Pellet size mm	Temperature (°C)									
	cm	mm		2°C	4°C	6°C	8°C	10°C	12°C	14°C	16°C	18°C	20°C
1000 - 1400	43 - 48	8	8	0,29	0,35	0,44	0,51	0,65	0,80	0,87	0,90	0,86	0,72
1400 - 2000	48 - 54	8	8	0,26	0,31	0,38	0,44	0,57	0,71	0,76	0,79	0,76	0,63
2000 - 3000	54 - 61	8	8	0,21	0,25	0,32	0,37	0,47	0,59	0,63	0,65	0,63	0,52

Optimal feeding – to be used when an optimal relation between large production and good feed utilisation is required

gram	Fish size		Pellet size mm	Temperature (°C)									
	cm	mm		2°C	4°C	6°C	8°C	10°C	12°C	14°C	16°C	18°C	20°C
1000 - 1400	43 - 48	8	8	0,32	0,37	0,46	0,62	0,91	1,29	1,57	1,76	1,66	0,88
1400 - 2000	48 - 54	8	8	0,28	0,33	0,41	0,55	0,81	1,15	1,40	1,56	1,48	0,78
2000 - 3000	54 - 61	8	8	0,24	0,28	0,35	0,47	0,69	0,98	1,19	1,33	1,26	0,66

Feeding should be adapted to the chosen production strategy and current farming conditions.  
Recommended storage of feed is in dry and cool place, protected from direct sunlight and pests.  
BioMar A/S - Mylius-Erichsensvej 35 - DK-7330 Brande - Phone +45 97 18 07 22 - info@biomar.dk - www.biomar.dk

(0,84 - 1,3)

\*The label can be found on the product itself as mandated by EU Regulation.

## Liite B: Kannattavuuslaskelmat

<b>Taulukko B.1</b> Kirjoloihen poikasta tuottavan kiertovesilaitoksen investointikustannukset (VE1) .....	60
<b>Taulukko B.2</b> Kiertovesilaitoksen poikastuotannon tuotantokustannukset (VE1) .....	60
<b>Taulukko B.3</b> Yhteenveto kiertovesilaitoksen poikastuotannon tuotantoparametreistä (VE1).....	61
<b>Taulukko B.4</b> Yhteenveto kiertovesilaitoksen kustannuksista (VE1) .....	61
<b>Taulukko B.5</b> Yhden muuttujan herkkyytarkastelu VE1:n poikaselle.....	62
<b>Taulukko B.6</b> Kiertovesikasvatetun teuraskalan tuotantokustannukset (VE2) .....	63
<b>Taulukko B.7</b> Yhteenveto kiertovesilaitoksen teuraskalatuotannon tuotantoparametreistä (VE2) .....	63
<b>Taulukko B.8</b> Yhteenveto kiertovesilaitoksen teuraskalatuotannon kustannuksista (VE2) .....	64
<b>Taulukko B.9</b> Yhteenveto kiertovesilaitoksen poikastuotannon kustannuksista (VE2).....	64
<b>Taulukko B.10</b> Yhteenveto avomeriviljelyn tuotantokustannuksista.....	65
<b>Taulukko B.11</b> Yhteenveto avomeriviljelyn tuotantoparametreistä .....	65
<b>Taulukko B.12</b> Yhteenveto avomerikasvatetun teuraskalatuotannon kustannuksista (VE1).....	66
<b>Taulukko B.13</b> Yhteenveto avomerikasvatetun teuraskalatuotannon kustannuksista (VE2).....	66

**Taulukko B.1** Kirjoloihen poikasta tuottavan kiertovesilaitoksen investointikustannukset (VE1).

<b>Investment costs</b>	<b>Investment total value</b>	<b>5 139 000 €</b>	<b>Investment weighted average dep</b>	<b>10,0</b>
Production constructions	Investment initial value	2 400 000	Deprecation years	10
RAS farming equipment and tanks	Investment initial value	2 008 000	Deprecation years	10
Electricity network connection	Investment initial value	50 000	Deprecation years	10
Transport	Investment initial value	46 000	Deprecation years	10
Other fixed costs (8% increase)	Investment initial value	360 000	Deprecation years	10
Construction permit	Investment initial value	30 000	Deprecation years	10
Consultancy and supervision	Investment initial value	245 000	Deprecation years	10

<b>Investment subsidy</b>	<b>Investment value with subsidy</b>	<b>3 083 000 €</b>
% of the investment total value		40 %

<b>Fixed personnel costs</b>	<b>Person-years total</b>	<b>4</b>	<b>Average month person costs</b>	<b>3 000 €</b>
Number of staff	Person-years	4	Average month salary staff €	3 000
Number of manager personnel	Person-years	0	Average month salary managers €	4 000
Salary overhead rate	Share of the salary	50 %	Annual person costs	216 000

<b>Other fixed costs</b>	<b>Annual value estimate</b>	<b>191 000 €</b>
Rent + real estate tax	Annual value	29 000
Maintenance	Annual value	30 000
Production licences and monitoring	Annual value	5 000
Book keeping and financial administration	Annual value	10 000
Fixed electricity	Annual value	5 000
Fuel etc.	Annual value	5 000
Insurance	Annual value	20 000
Water heating	Annual value	30 000
Water cooling	Annual value	10 000
Post-smolt storage, 0,39 GWh electricity	Annual value	47 000

**Taulukko B.2** Kiertovesilaitoksen poikastuotannon tuotantokustannukset (VE1).

Volume, kg of fish produced	274 000
Volume, kg of feed use	246 600
Number of fish in beginning	721 223

<b>Variable cost factors</b>	<b>Targeted by:</b>	<b>€</b>	<b>Annual total variable cost €</b>	<b>644 800 €</b>
			<b>Annual total variable cost €/kg fish</b>	<b>2,35</b>
Feed cost	average €/kg feed	1,35	332 900 €	1,21
Eyed-egg cost	average €/1000 kpl	50 €	36 100 €	0,13
			<b>Other annual variable cost €</b>	<b>275 800 €</b>
			<b>Other variable cost €/kg fish</b>	<b>1,01</b>
Vaccination	€/fish	0,08	46 200 €	
Medicines	€/produced fish	0,02	5 500 €	
Electricity	€/produced fish	0,46	124 900 €	
Oxygen (electricity cost)	€/feed kg	0,08	19 700 €	
Sludge treatment chemicals	€/feed kg	0,02	4 900 €	
Sludge disposal	€/feed kg	0,18	44 400 €	
pH-control chemicals	€/feed kg	0,10	23 700 €	
Ozone (electricity cost)	€/feed kg	0,03	6 500 €	

Taulukko B.3 Yhteenveto kiertovesilaitoksen poikastuotannon tuotantoparametreistä (VE1)

## Productivity factors

Eyed-egg purchasing	Average size of eyed-egg gram	0,1	Production volume per year, kg	274 000
Growth	Estimated average final weight	500	Growth, x times the initial weight	4 230
Mortality	Total mortality %	24 %	Number of eyed-egg	721 223
Harvest yield	Gutting yield %	100 %	Sales volume, kg	274 000
Feed efficiency	Feed conversion ratio (FCR)	0,90	Feed usage, kg	246 600

## Company fixed costs

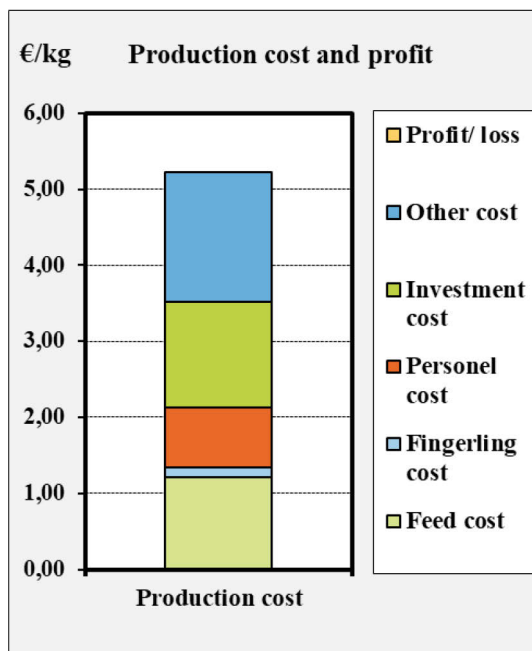
Personnel costs	Number of personnel	4	Average monthly salary	3 000 €
	Salary overhead rate	50 %		
Investment	Investment total value	3 083 000 €	Investment depreciation years	10,0
Capital costs	Capital interest %	4,00 %	Tax rate %	0,00 %
Other fixed costs	Other fixed cost total €/year	191 000 €		

## Volume depended variable costs

Feed cost	1,35 €/kg feed	50,00 €	price per 1,000 eyed-eggs
Other variable costs	1,01 €/kg		

Taulukko B.4 Yhteenveto kiertovesilaitoksen kustannuksista (VE1).

Variable costs	Total	€/kg
Feed cost	332 900 €	1,21
Eyed-egg cost	36 100 €	0,13
Other variable costs	275 800 €	1,01
<b>Fixed costs</b>		
Fixed personnel	216 000 €	0,79
Investment depreciation	308 300 €	1,13
Other fixed costs	191 000 €	0,70
<b>Financial costs</b>		
Capital costs	71 800 €	0,26
<b>Total costs</b>	<b>1 431 900 €</b>	<b>5,23</b>





Taulukko B.5 Yhden muuttujan herkkyytarkastelu VE1:n poikaselle.

Cost factor	Unit	Variation	Assumed value	Sensitivity values		New production cost		Change in production cost	
				High end	Low end	High end	Low end	High end	Low end
Production volume	kg/year	10%	274 000	301 000	247 000	4,97	5,54	0,26	-0,31
Mortality (from eyed egg)	%	25%	24 %	18 %	30 %	5,22	5,24	0,01	-0,01
FCR	kg/kg	5 %	0,90	0,85	0,95	5,16	5,29	0,06	-0,06
Personnel	Work years	1	4	3	5	5,03	5,42	0,20	-0,20
Investment (subsidy included)	€	10 %	3 083 000	2 775 000	3 391 000	5,09	5,36	0,14	-0,14
Interest	%	1 %-yks.	4 %	3 %	5 %	5,16	5,29	0,07	-0,07
Other fixed costs	€	10%	191 000	172 000	210 000	5,16	5,29	0,07	-0,07
Feed price	€/kg feed	10 %	1,35	1,22	1,49	5,10	5,35	0,12	-0,12
Eyed egg price	€/1,000 egg	30%	50	35	65	5,19	5,26	0,04	-0,04
Other variable costs	€/kg	10 %	1,01	0,91	1,11	5,12	5,33	0,10	-0,10

Taulukko B.6 Kiertovesikasvatetun teuraskalan tuotantokustannukset (VE2).

Volume, kg of fish produced	48 960
Volume, kg of feed use	60 480
Number of fish in beginning	41 361

Variable cost factors	Targeted by:	€	Annual total variable cost €	150 545 €
			Annual total variable cost €/kg fish	3,07
Feed cost	average €/kg feed	1,35	81 648 €	1,67
Eyed-egg cost	average €/1000 kpl	50 €	2 068 €	0,04
Roe cost	average €/kg roe			0,00
			Other annual variable cost €	66 829 €
			Other variable cost €/kg fish	1,36
Personnel	€/guttet fish	0,1	4 896	
Vaccination	€/fish	0,08	2 647 €	
Medicines	€/produced fish	0,02	979 €	
Electricity	€/produced fish	0,46	22 326 €	
Oxygen	€/feed kg	0,08	4 838 €	
Transport	€/guttet fish	0,05	3 024 €	
Washing and waste water	€/guttet fish	0,01	605 €	
Slaughter electricity, 0,16 kW	€/guttet fish	0,02	1 161 €	
Sludge treatment chemicals	€/feed kg	0,02	1 210 €	
Sludge and fish gut disposal	€/feed kg	0,19	11 677 €	
pH-control chemicals	€/feed kg	0,10	5 821 €	
Ozone	€/feed kg	0,03	1 597 €	
Packing	€/guttet fish	0,10	6 048 €	

Taulukko B.7 Yhteenveto kiertovesilaitoksen teuraskalatutannon tuotantoparametreistä (VE2).

Sales price	Average market price €/kg	5,94	Average June-September 2017-2019
-------------	---------------------------	------	----------------------------------

#### Productivity factors

Eyed-egg purchasing	Average size of eyed-egg gram	0,1	Production volume per year, kg	57 600
Growth	Estimated average final weight	1 900	Growth, x times the initial weight	16 074
Mortality	Total mortality %	27 %	Number of eyed-egg	41 361
Harvest yield	Gutting yield %	85 %	Sales volume, kg	48 960
Feed efficiency	Feed conversion ratio (FCR)	1,05	Feed usage, kg	60 480

#### Company fixed costs

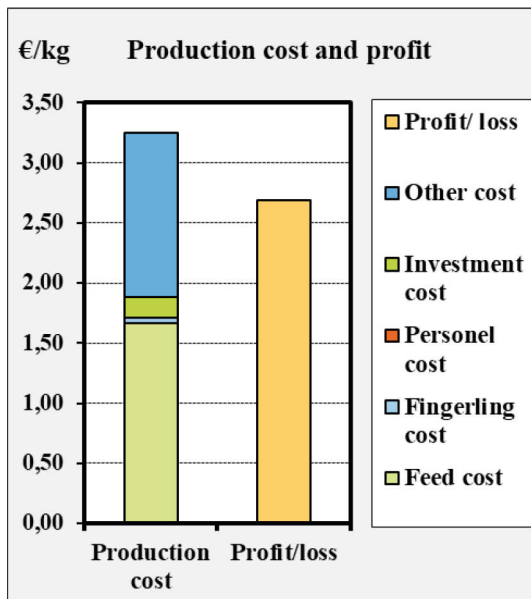
Personnel costs	Number of personnel	0	Average monthly salary	- €
	Salary overhead rate	50 %		
Investment	Additional investment total val	70 000 €	Investment depreciation years	10,0
Capital costs	Capital interest %	4,00 %	Tax rate %	0,00 %
Other fixed costs	Other fixed cost total €/year	0 €		

#### Volume depended variable costs

Feed cost	1,35 €/kg feed	50,00 €	price per 1,000 eyed-eggs
Other variable costs	1,36 €/kg		

Taulukko B.8 Yhteenveto kiertovesilaitoksen teuraskalatuotannon kustannuksista (VE2).

Factor based profit account		€/kg
<b>Revenue</b>	<b>290 800 €</b>	<b>5,94</b>
<b>Variable costs</b>		
<b>Feed cost</b>	<b>81 600 €</b>	<b>1,67</b>
<b>Eyed-egg cost</b>	<b>2 100 €</b>	<b>0,04</b>
<b>Other variable costs</b>	<b>66 800 €</b>	<b>1,36</b>
<b>Fixed costs</b>		
<b>Fixed personnel</b>	<b>0 €</b>	<b>0,00</b>
<b>Investment depreciation</b>	<b>7 000 €</b>	<b>0,14</b>
<b>Other fixed costs</b>	<b>0 €</b>	<b>0,00</b>
<b>Financial costs</b>		
<b>Capital costs</b>	<b>1 600 €</b>	<b>0,03</b>
<b>Total costs</b>	<b>159 100 €</b>	<b>3,25</b>
<b>Profit</b>	<b>131 700 €</b>	<b>2,69</b>



Taulukko B.9 Yhteenveto kiertovesilaitoksen poikastuotannon kustannuksista (VE2).

<b>Variable costs</b>	<b>Total</b>	<b>€/kg</b>
<b>Feed cost</b>	<b>332 900 €</b>	<b>1,21</b>
<b>Eyed-egg cost</b>	<b>36 100 €</b>	<b>0,13</b>
<b>Other variable costs</b>	<b>275 800 €</b>	<b>1,01</b>
<b>Fixed costs</b>		
<b>Fixed personnel</b>	<b>216 000 €</b>	<b>0,79</b>
<b>Investment depreciation</b>	<b>308 300 €</b>	<b>1,13</b>
<b>Other fixed costs</b>	<b>191 000 €</b>	<b>0,70</b>
<b>Financial costs</b>		
<b>Capital costs</b>	<b>71 800 €</b>	<b>0,26</b>
<b>Total costs</b>	<b>1 431 900 €</b>	<b>5,23</b>
<b>Allocated sales profit</b>		
<b>Profit from large fish</b>	<b>131 700 €</b>	<b>0,48</b>
<b>Total cost of post-smolt after food fish sales</b>	<b>1 300 200 €</b>	<b>4,75</b>



Taulukko B.10 Yhteenveto avomeriviljelyn tuotantokustannuksista.

Production volume, kg	1 255 000
Volume, kg gutted fish	1 066 000
Number of fish in beginning	548 000

Variable cost factors	Targeted by:	€	Annual total variable cost €	3 093 762
			Annual total variable cost €/kg	2,90
Feed cost	average €/kg feed	1,30	1 495 000	1,40
Fingerling cost	average €/kg	4,75	1 301 500	1,22
			Other annual variable cost €	297 262
			Other variable cost €/kg	0,28
Personnel (gutting)	€/gutted fish	0,1	106 600	
Fuel (feeding and towing)	€/gutted fish	0,01	10 660	
Slaughter house electricity, 0,16 kWh/H	€/gutted fish	0,02	20 467	
Transport	€/gutted fish	0,02	21 320	
Washing and waste water	€/gutted fish	0,01	10 660	
Fish guts disposal	€/produced	0,012	15 625	
Sludge treatment chemicals (slaughter)	€/gutted fish	0,005	5 330	
Packing	€/gutted fish	0,1	106 600	

Taulukko B.11 Yhteenveto avomeriviljelyn tuotantoparametreistä.

## Sales

Sales price	Average market price €/kg	4,50
-------------	---------------------------	------

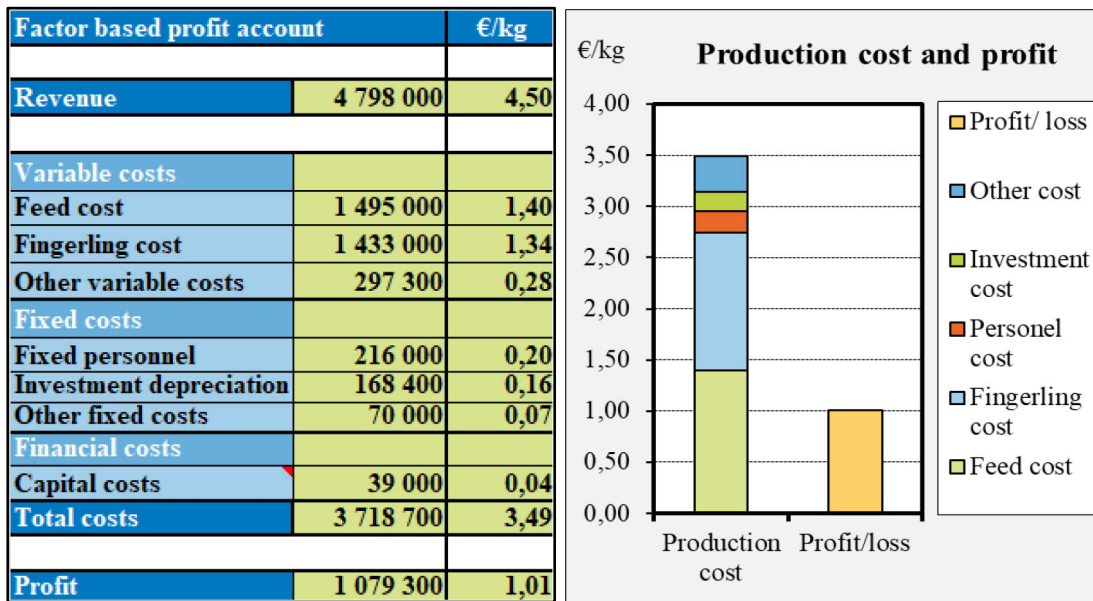
## Productivity factors

Fingerling purchasing	Average size of fingerling gram	500	Production volume per year, kg	1 254 500
Growth	Estimated average final weight	2 360	Growth, x times the initial weight	4,7
Mortality	Total mortality %	3 %	Number of fingerlings	548 000
Harvest yield	Gutting yield %	85 %	Sales volume, kg	1 066 300
Feed efficiency	Feed conversion ratio (FCR)	1,15	Feed usage, kg	1 150 000

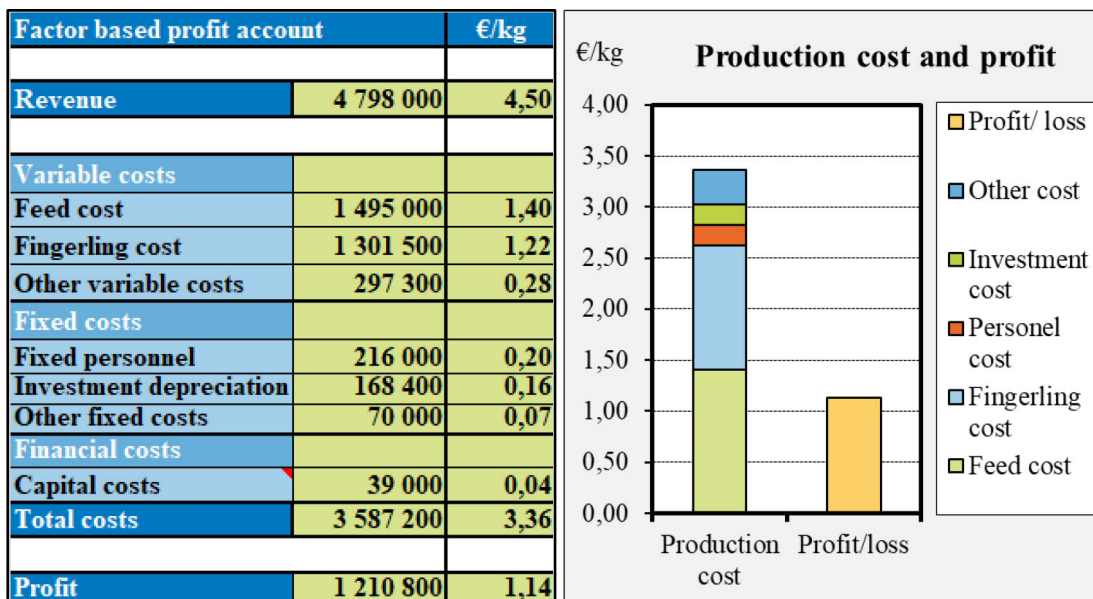
## Company fixed costs

Personnel costs	Number of personnel	4	Average monthly salary €	3 000
	Salary overhead rate	50 %		
Investment	Investment total value €	1 684 000	Investment depreciation years	10,0
Capital costs	Capital interest %	4,00 %	Tax rate %	0,00 %
Other fixed costs	Other fixed cost total €/year	70 000		

Taulukko B.12 Yhteenveto avomerikasvatetun teuraskalatuotannon kustannuksista (VE1: 5,23 €/kg).



Taulukko B.13 Yhteenveto avomerikasvatetun teuraskalatuotannon kustannuksista (VE2: 4,75 €/kg).





luke.fi

Luonnonvarakeskus  
Latokartanonkaari 9  
00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000