

Kalankasvatuksen avomeritekniikat ja niiden soveltuvuus Suomeen

Markus Kankainen, Jouni Vielma ja Jari Niukko



RIISTA – JA KALATALOUS
TUTKIMUKSIA JA SELVITYKSIÄ

11/2014

RIISTA- JA KALATALOUS

TUTKIMUKSIA JA SELVITYKSIÄ

11 / 2014

Kalankasvatuksen avomeritekniikat ja niiden soveltuvuus Suomeen

Markus Kankainen, Jouni Vielma ja Jari Niukko



Hanke on osittain Euroopan kalatalousrahaston (EKTR) rahoittama.
EU investoi kestävään kalatalouteen (komission asetus EY 498/2007).



RIISTAN- JA KALANTUTKIMUS

Julkaisija:
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Helsinki 2014

Kannen kuvat: Markus Kankainen

Julkaisujen myynti:
www.rktl.fi/julkaisut
www.juvenes.fi/verkkokauppa

Pdf-julkaisu verkossa:
www.rktl.fi/julkaisut/
ISBN 978-952-303-174-6 (Painettu)
ISBN 978-952-303-175-3 (Verkkojulkaisu)

ISSN 1799-4764 (Painettu)
ISSN 1799-4748 (Verkkojulkaisu)

Sisällys

Tiivistelmä	4
Sammandrag	5
Abstract	6
1. Johdanto.....	7
1.1. Avomerikalankasvatuksen määrittely	10
1.2. Kansallinen vesiviljelyn sijainninohjaussuunnitelma	10
2. Katsaus maailmalla käytettyihin avomerikasvatustekniikoihin	13
2.1. Verkkoaltaat ja ankkurointi.....	13
2.1.1. Kelluvat joustavat kasvatusrakenteet	13
2.1.2. Kelluvat kiinteät kasvatusrakenteet.....	15
2.1.3. Upotettavat ja puoliuppoavat järjestelmät.....	16
2.1.4. Verkot.....	20
2.1.5. Ankkurointi.....	20
2.2. Ruokintalaitteet	21
2.3. Työveneet ja niiden laitteistot	24
2.4. Ohjausjärjestelmät, riskin ja laadun valvontajärjestelmät.....	26
2.5. Suunnittelu, asennus ja avaimet käteen -ratkaisut.....	27
2.6. Innovatiivisia ratkaisuja kehitetään jatkuvasti	27
3. Tuotanto-olosuhteiden huomioiminen tekniikan valinnassa.....	29
3.1. Tuotanto-olosuhteiden erityispiirteet Itämerellä.....	29
3.2. Tekniset standardit ja tekniikan sekä paikan valinnasta Norjassa	30
3.3. Muun tuotantoketjun huomioiminen avomerikasvatuksessa.....	32
4. Avomerikasvatuksen kilpailukyky ja haasteet	33
4.1. Kilpailukykyyn vaikuttavat tekijät.....	33
4.2. Avomerikasvatuksen haasteet	34
Viitteet.....	35

Tiivistelmä

Tässä raportissa esitetään käytössä olevia kalankasvatustekniikoita avoimilta merialueilta. Maailmassa kalankasvatus lisääntyy erityisesti avomerialueilla tilan ja muun merialueen käytön suunnittelun takia. Suomessakin kansallisen vesiviljelyn sijainninhjaussuunnitelman perusteella avomerialueet on todettu mahdollisiksi lisätä kotimaista kalatuotantoa. Kun Itämeren avoimiin olosuhteisiin arvioidaan soveltuvaa kasvatustapaa, tuotantotekniikan valinnassa tulee ottaa huomioon Itämeren olosuhteet ja se, että koko tuotantoketju toimii poikastuotannosta kalamarkkinoille.

Asiasanat: avomeri, Itämeri, kalankasvatus, kilpailukyky, menetelmä, tekniikka

Kankainen, M., Vielma, J. & Niukko, J. 2014. Kalankasvatuksen avomeritekniikat ja niiden soveltuvuus Suomeen. *Riista- ja kalatalous – Tutkimuksia ja selvityksiä* 11/2014. 34 s.

Sammandrag

I denna rapport presenteras fiskodlingstekniker som används i öppna havsområden. Världen över ökar fiskodlingen särskilt i öppet hav till följd av områdesplanering och annan planering av användningen av havsområdet. Även i Finland har man utifrån den nationella planen för lokaliseringsstyrning kommit fram till att det är möjligt att öka den inhemska fiskproduktionen i öppna havsområden. När man bedömer ett odlingssätt som lämpar sig för Östersjöns öppna förhållanden måste man i valet av produktionsteknik beakta förhållandena i Östersjön och det att hela produktionskedjan fungerar, från yngelproduktion till fiskmarknad.

Nyckelord: öppet hav, Östersjön, fiskodling, konkurrenskraft, metod, teknik

Kankainen, M., Vielma, J. & Niukko, J. 2014. Kalankasvatuksen avomeritekniikat ja niiden soveltuvuus Suomeen (Tekniker för fiskodling i öppet hav och deras tillämplighet i Finland). *Vilthushållning och fiskeri – Undersökningar och utredningar* 11/2014. 34 s.

Abstract

This report is a review of the offshore fish farming systems used in the world's open water and remote marine areas. Fish farming production is increasing in open sea areas especially, largely because of the increasing demand for fish and the potential space offered by these areas for producing food, as well as other aspects of marine spatial planning. Finland's own national spatial plan for aquaculture also recognizes the potential of new offshore sites for increasing production. Evaluation of possible offshore farming methods in the Baltic Sea should take into account the special characteristics and production conditions of the Baltic and the related operations needed in the fish farming supply chain.

Keywords: Baltic Sea, competitiveness, fish farming, method, offshore, technology

Kankainen, M., Vielma, J. & Niukko, J. 2014. Offshore fish farming technique review and applications to Finnish water areas. *Riista- ja kalatalous – Tutkimuksia ja selvityksiä* 11/2014. 34 p.

1. Johdanto

FAO on arvioinut, että avomerellä tapahtuva kalankasvatus on ainoa keino vastata lisääntyvään kalan tarpeeseen ja kysyntään maailmassa (Aguilar-Manjarrez ym. 2014). Vesiviljelytuotanto on lisääntynyt 1990-luvulta alkaen keskimäärin noin 2 miljardia kiloa vuosittain. Koska vaihtolämpöinen kala tuottaa rehun proteiiniksi tehokkaammin kuin muut tuotantoeläimet, vesiviljely säästää luonnonvaroja verrattuna muuhun eläintuotantoon. Merissä on maapinta-alasta poiketen tilaa tuotannolle. Suuri osa maapallon vesipinta-alasta on toistaiseksi hyödyntämättä, erityisesti avomeri. Suojaiset merialueet hyödynnetään kalankasvatukseen ensin, mutta ajan kuluessa kasvatustoiminta tulee siirtymään avomerelle.

Suomessa tai Itämeren alueella kalankasvatus ei ole kuitenkaan lisääntynyt. Itämerellä ravinnekuormitusta on pyritty vähentämään monin eri keinoin, myös kalankasvatusta vähentämällä. Monissa kansallisissa ja Itämeren valtioiden yhteisissä tutkimushankkeissa on pyritty miettimään kestäviä tapoja kasvattaa tuotantoa ja sovittaa yhteen merialueen käyttöä (esimerkiksi COEXIST, PartiSEApate, BaltSeaPlan, SUBMARINER, AQUAFIMA, Aquabest ja Project “Coastal futures” (Alfred-Wegener Institute).

Kalankasvatuksen sijainninhjauksen ja avomeritekniikan kehittämisen on todettu olevan tapa kasvattaa tuotantoa Itämeressä kestävästi. Suomessa kalankasvatukselle on laadittu kansallinen vesiviljelyn sijainninhjaussuunnitelma (maa- ja metsätalousministeriö ja ympäristöministeriö 2014). Vastaavanlaisia sijainninhjaussuunnitelmia on tehty ympäri maailman, Itämeren alueella muun muassa Tanskassa (Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri 2003). Monissa suunnitelmissa johtopäätös on ollut, että kalankasvatukselle suuressa mittakaavassa tilaa löytyy nimenomaan avomereltä. Avomerikasvatuksesta on jo yhä enemmän kokemuksia maailmalta sellaisilta alueilta, joilla on siirrytty sisävesiltä tai saaristosta ulommille merialueille. Useissa maissa ei lähtökohtaisesti ole muuta mahdollisuutta kuin tuottaa kalaa avoimilla merialueilla, koska suojaisaa saaristoa ei ole.

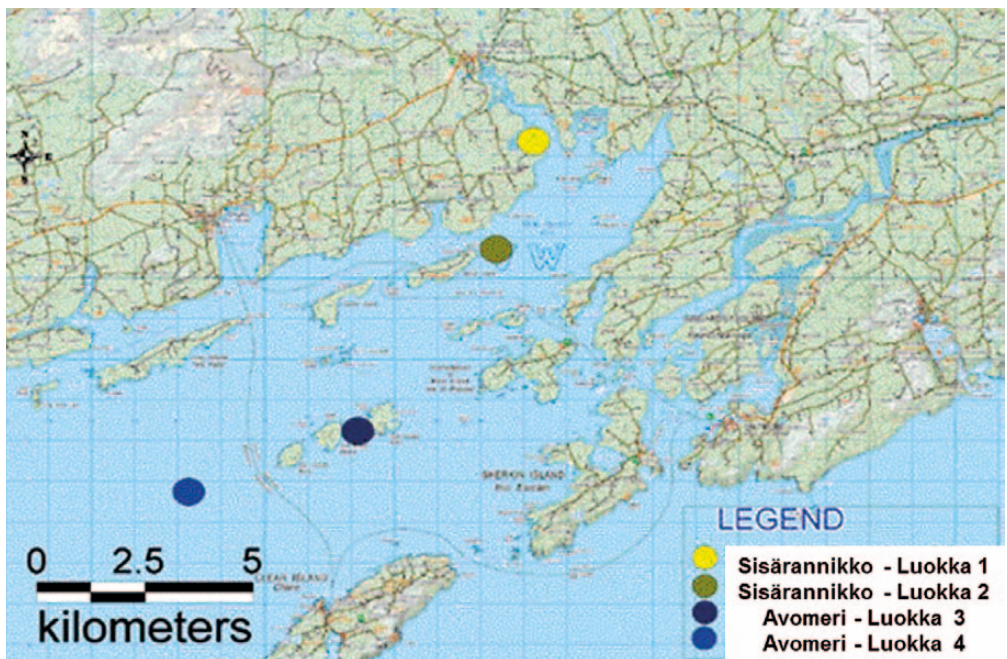
Avomeri tuotantoympäristönä on haastava. Merialueilla työskentely on vaarallista tai jopa mahdotonta kovilla myrskyillä. Itämerelläkin yksittäiset aallot ovat olleet yli kymmenmetrisiä. Tuotantolaitteisto ja menetelmät tulee valita siten, että ne kestävät tuotantopaikan kovimmatkin olosuhteet. Tuotannon kustannukset kasvavat, kun joudutaan investoimaan suurempiin aluksiin ja kestävämpiin kasvatusrakenteisiin. Tuotannon tulee kuitenkin säilyä kilpailukykyisenä nykyisiin tuotantotapoihin verrattuna, jotta toiminta on kannattavaa ja pääomasijoittajat investoivat tuotannon kasvuun.

Tässä selvityksessä esitetään erilaisia maailmalla avoimilla merialueilla käytössä olevia tuotantomenetelmiä. Samalla arvioidaan, miten mahdolliset tuotantomenetelmät soveltuvat Suomeen ja Itämeren tuotanto-olosuhteisiin. Olosuhteita on selvitetty yksityiskohtaisesti raportissa ”Kalankasvatuksen tuotanto-olosuhteet Suomen rannikolla” (Kankainen ja Niukko 2014) ja investointien tuotantotaloutta on käsitelty raportissa ”Avomerikasvatuksen investoinnit ja kilpailukyky Suomessa” (Kankainen ja Mikalsen 2014).

1.1. Avomerikalankasvatuksen määrittely

Avomerikalankasvatukselle löytyy erilaisia määritelmiä. Maailmalla termi ”offshore aquaculture” tarkoittaa merellä yleisesti käytössä olevaa kovaa olosuhteita kestäväää verkkoallaskasvatustekniikkaa. Välillä avomerikasvatuksella viitataan täysin avoimilla merialueilla käytettäviin kasvatusjärjestelmiin ”open ocean aquaculture”. Ryan (2004) on luokitellut merikasvatuspaikkoja neljään eri luokkaan teknisten ratkaisujen valinnan ja avomerikasvatuksen olosuhteiden määrittelyn helpottamiseksi (kuva 1). Yleisesti käsitettynä avomerikasvatus on joko kaukana rannasta tai kovissa olosuhteissa tapahtuvaa kalankasvatusta.

Suomen rannikkoalueen kalankasvatuksen voidaan toistaiseksi arvioida tapahtuvan luokissa 1–3, joten Suomessakin on kokemusta kovista olosuhteista laitoksissa, jotka sijaitsevat avoimilla mutta osittain suojaisilla alueilla ulkosaaristossa. Luokan 4 laitokset yleistyvät maailmalla, mutta niitä on vielä suhteellisen vähän. Täysin avoimilla merillä haastavissa olosuhteissa käytetään yhä enemmän upotettavia tai puoliupotettavia kasvatusratkaisuja. Kuitenkin merikasvatuksessa suosituimmissa kelluvista muovikehikoista valmistetuissa altaissa voidaan kasvattaa kalaa yli 7-metriseissä aallokossa.



Kuva 1. Merikasvatuksen luokittelu olosuhteiden perusteella (Ryan 2004).

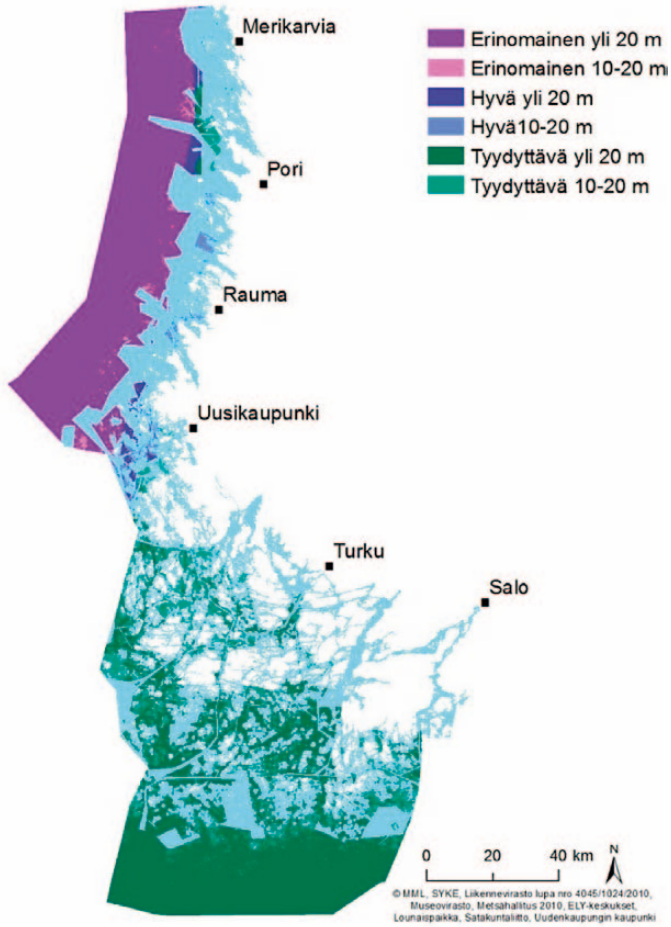
1.2. Kansallinen vesiviljelyn sijainninhjaussuunnitelma

Kansallisen vesiviljelyn sijainninhjaussuunnitelman tavoitteena on ohjata merialueen ruokakalan jatkokasvatusvaiheita ympäristönsuojelun, vesiviljelyelinkeinon ja muiden vesien käyttömuotojen kannalta sopiville vesialueille. Vähemmän kuormittavia poikaskasvatus- ja talvisäilytysalueita ei ole suunnitelmassa pyritty tunnistamaan. Sijainninhjaussuunnitelman tarkoitus on helpottaa vesiviljelylaitosten keskittämistä ja uusien laitosten perustamista suunnitelmassa tähän tarkoitukseen tunnistetuilla alueilla.

Elinkeinoharjoittajat voivat sijainninhjaussuunnitelman perusteella suunnitella tuotantoaan ja hakea ympäristölupia suunnitelmassa esitettyjen linjausten mukaisesti. Sijainninhjaussuunnitelma lisää toiminnan ja siihen liittyvän ympäristölupaprosessin ennakoitavuutta, kun hakijan, lausunnonantajien ja lupaviranomaisen tiedossa on ympäristöalan ja asiantuntijoiden yhteinen näkemys kalankasvatukseen sopivista vesialueista ja niille sopivasta tuotannosta tai tuotantomäärästä. Maa- ja metsätalousministeriö laati vesiviljelyn kansallisen sijainninhjaussuunnitelman yhteistyössä ympäristöministeriön kanssa. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos toteutti käytännön työn.

Suunnittelun lähtökohtana oli, että vesiviljelytoiminta ei saa vaarantaa vesien hyvän tilan saavuttamista eikä säilyttämistä. Tämän vuoksi suunnitelmassa ei esitetä uutta tuotantoa Saaristomerelle ja Suomenlahdelle, koska vesien tila on ekologisen luokittelun perusteella ainoastaan tyydyttävä. Näillä vesialueilla tunnistettiin sen sijaan alueita, jonne yritykset voivat keskittää nykyistä tuotantoaan isompiin yksiköihin ja siten vähentää elinkeinon ja virkistyskäytön välisiä ristiriitoja sekä parantaa yritysten toimintaedellytyksiä. Selkämereltä Perämerelle tunnistettiin vesiviljelyyn soveltuvia alueita, joilla vesi-tiljelytuotannon lisääminen ei vaaranna vesien hyvän tilan säilymistä (kuva 2).

Avomerialue ja tuulivoiman tuotantoalueet tunnistettiin tulevaisuuden kasvualueiksi, joiden hyödyntäminen edellyttää näihin olosuhteisiin soveltuvan tekniikan kehittämistä. Sijainninhjaussuunnitelman kasvualueista vain pieni osa sijaitsee osittain suojaisilla alueilla avomeren reunalla (kuva 1: luokka 3), jossa olisi mahdollista soveltaa nykyisin käytössä olevaa tekniikkaa. Suuri osa tunnistetuista alueista sijaitsee täysin avoimilla alueilla (luokka 4), joilla tuotanto on erittäin haastavaa olosuhteiden takia.



Kuva 2. Ote Kansallisesta vesiviljelyn sijainninhjaussuunnitelmasta (Varsinais-Suomi–Satakunta). Tummansiniset ja violetit alueet ovat kasvualueita uudelle tuotannolle. Vihreille alueille voidaan keskittää olemassa olevaa tuotantoa. Vaaleansinisille alueille kasvatusta ei ohjata.

2. Katsaus maailmalla käytettyihin avomerikasvatustekniikoihin

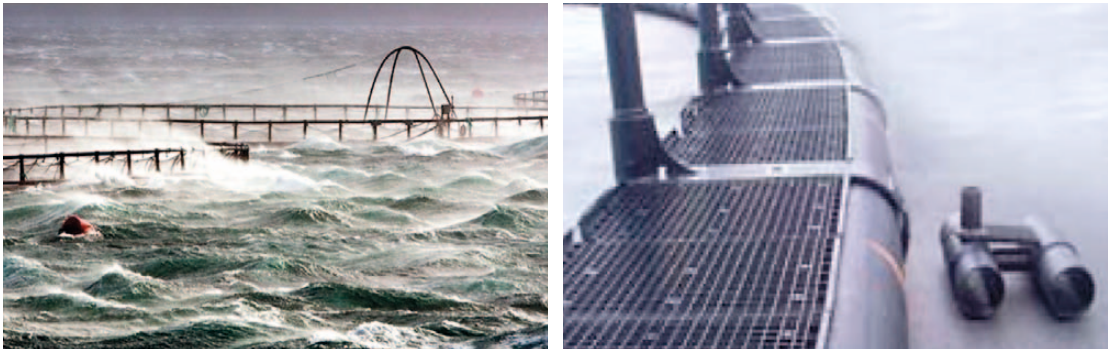
Avomerikasvatukseen siirtyminen saattaa edellyttää rakenteellisia muutoksia ja uutta teknologiaa jopa kaikissa tuotannon vaiheissa ennen kalojen perkausta. Tässä luvussa tarkastelemme avomerikasvatuksen tekniikkaa seuraavan jaottelun avulla: verkkoaltaat ja ankkurointi, ruokintalaitteet, työveneet sekä muut kasvatuslaitteistot.

2.1. Verkkoaltaat ja ankkurointi

Avomerikasvatuksessa on käytössä Suomessakin tyypillisiä kelluvia kehikoita ja erilaisia puoliuppoavia tai uppoavia kasvatusyksiköitä. Verkkoaltaiden kehikot voivat olla joustavia tai jäykkiä. Seuraavassa tarkastellaan erilaisia avomerikasvatusratkaisuja maailmalla käytössä olevien kaupallisten tuotteiden kautta. Osa ratkaisuista on jäänyt kokeiluiksi, kun taas osaa tekniikoista hyödynnetään tuhansilla laitoksilla ympäri maailman.

2.1.1. Kelluvat joustavat kasvatusrakenteet

Tutuimpia avomerikasvatuksen verkkoallaskehikoita ovat polyetyleeniputkesta (PE) tehdyt pyöreät kehät. Putkien läpimitta on yleensä 200–300 mm, mutta myös 500 mm:n putkia on käytössä (kuva 3).



Kuva 3. Pyöreä PE-putkesta tehty kehikko on yleisin ratkaisu myös avointen merialueiden verkkoal-laskasvatuksessa. AKVA groupin Polarcirkel-kehikoiden Gigantti-malli 1990-luvun puoli-välistä (putken läpimitta 225 mm) ja nykyinen avomerikasvatukseen tarkoitettu 500 mm:n putkesta tehty kehikko (kuva: AKVA group).

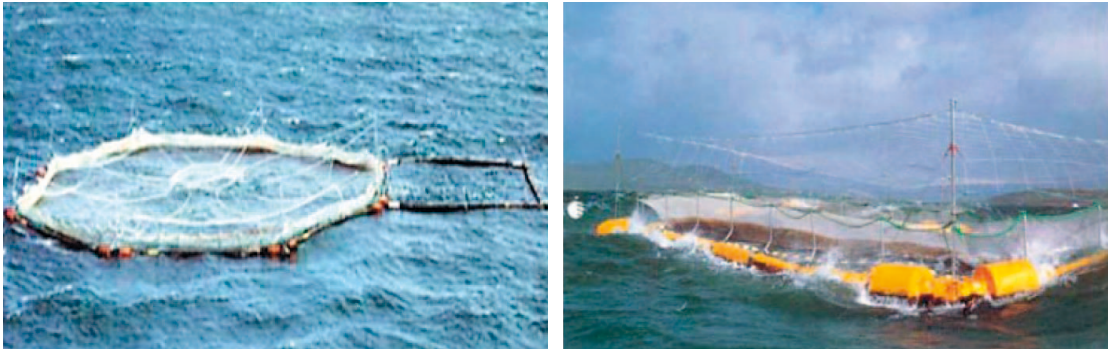
Putkia voi olla vierekkäin yhdestä kolmeen. Kantavien kehäputkien päälle voidaan rakentaa kapea työskentelytaso. Putket voidaan täyttää kelluttavalla täyteaineella. Vedenalaista verkkoa kantavan kehän lisäksi altaan keskellä, vedenpinnan yläpuolella, on tavallisesti lintujen pääsyä ja kalojen poishyppäämistä estävää verkkoa kannattava kelluva rakenne. Veden alla voi olla verkon muotoa säätelevä kehä. Vedenalaisten kehien varaan voidaan ripustaa myös hylkeenkestäviä verkkoja. Joustavia kehikoita valmistavat mm. AKVA group (Polarcirkel), Aqualine, Fusion Marine, Corelsa, Refa Med Srl, AquaSURE, Farmocean ja Ocea. Kehikoita voidaan valmistaa myös paikallisten yrittäjien toimesta alihankintana.

Itämerellä tavattava suurin verkkoallaskehien ympärysmitta on noin 100 metriä, ja Suomen verkkoallaskasvatuksessa kehien ympärysmitta on tavallisesti 60–90 metriä. Meri-lohen kasvatuksessa uusien kehikoiden ympärysmitta on yleisesti vähintään 100 metriä. Välimerellä yleisimmin käytössä olevien allaskehikoiden ympärysmitta on 40–50 metriä, mutta tonnikalan kasvatuksessa käytetään kehikoita, joiden ympärysmitta on noin 200 metriä. Kun verkkoaltaiden syvyys avoimilla merialueilla on ainakin 20 metriä, saavutetaan tällaisissa kehikoissa yli 50 000 m³:n kasvatustilavuuksia ja noin 1 000 tonnin lopputuotantomassoja.

Suomen merialueella kelluvat kehikot on siirrettävä talveksi pois avomerialueilta, koska rakenteet eivät kestä paksujen, liikkuvien jäälauttojen massaa. Tämä rajoittaa kehikon ympärysmittaa, sillä suurimpia kehikoita verkkoaltaineen on vaikea hinata käytettävissä olevalla kalustolla. Koska esimerkiksi Norjassa, Chilessä ja Skotlannissa ei ole jääpeitettä, verkkoaltaita ei välttämättä siirretä lainkaan muualle.

Kehikoita voidaan asentaa lähekkäin ryhmiin, jolloin useiden altain kaloja voidaan ruokkia samalta ruokintalautalta. Jos useita verkkoaltaita asennetaan samaan ankkurointiketjuun, virtaamien ja aallokon aiheuttama kokonaisrasitus tulee huomioida ankkuroinnin suunnittelussa. Kovissa olosuhteissa kehikoiden ja ankkurointijärjestelmän liikkeet kuluttavat kasvatusrakenteiden liitoskohtia ja verkkoa, joten niitä täytyy vaihtaa useammin kuin suojaisilla alueilla. Kehikoita on mennyt rikki, jos ruokintalaitteita on asennettu kiinni verkkoaltaiden reunoihin kovissa olosuhteissa, koska merenkäynnin rasitus ei ole jakautunut tasaisesti kehikoon. Koska rakenteet ovat melko kevyitä, kovassa merenkäynnissä työskentelyyn tarvitaan huoltoalus, jota pystyy ohjaamaan vakaasti siten, että vene ei vahingoita kehikoita.

Kelluvat joustavat PE-kehikot saadaan kestävämmän monimetrisiä aaltoja. Tanskassa eteläisellä Itämerellä Isossa-Beltissä avomerikasvatuskokeessa tuotantomittakaavan PE-kehikko kesti vuonna 2013 myrskyn, jonka on arvioitu olevan yksi pahimmista sataan vuoteen. Japanilainen Bridgestone on valmistanut avomerikasvatukseen soveltuvia kehikoita 1970-luvun puolivälistä lähtien. Kehikot perustuvat kumiletkuihin, joita käytetään öljyn siirtämisessä tankkerista terminaaliin (kuva 4).



Kuva 4. Öljynsiirron kumiletkuihin perustuvaa Dunlop-kehikkoa käytetään offshore-kasvatuksessa (vasemmalla) (kuva: Bonnar Engineering Ltd). Vastaavaa tekniikkaa on soveltanut Bridges-tone-yhtiö oikealla (kuva: Bridgestone).

Kehikot tehtiin yleensä 4–8-kulmaisiksi. Suurin kehikko on tiettävästi Irlantiin valmistettu ympärysmitaltaan 160-metrinen kehikko. Joissakin tapauksissa tällaisten kehikoiden suojaan on asennettu tavallisempia PE-kehikoita, jolloin ne toimivat kasvatusaltaan lisäksi aallonmurtajina. Yksiköitä on käytössä vähintään 300 kpl, mutta niiden valmistus on lopetettu 2000-luvun alussa. Samankaltaista tekniikkaa hyödyntävät noin vuonna 1990 markkinoille tuodut Dunlop Tempest -kehikot (irlantilainen Bonnar Engineering Ltd).

2.1.2. Kelluvat kiinteät kasvatusrakenteet

Erityisesti suojaisilla kasvatuspaikoilla käytetään myös metallisia kehikoita. Kasvatusaltaiden väliin rakennetaan työsillat, joista suurimmilla voidaan ajaa vaikkapa trukilla. Kenties tunnetuin kaupp nimi on Wavemaster (AKVA group), jonka kehikoita on myyty maailmalla yli 4 000 kpl (kuva 5).



Kuva 5. Wavemaster lienee myydyin teräskehikko (kuva: AKVA group).

Suurimpia 20 x 20 metrin kehikoita on käytetty melko avoimilla paikoilla, mutta varsinaista avomerikasvatusta varten jäykät kehikot pitää rakentaa huomattavan järeiksi (kuvat 6 ja 7). Esimerkiksi Skotlannissa valmistettu Cruive kehitettiin laivanvarustajien ja lohenkasvattajien yhteistyönä, mutta kehikko on ilmeisesti altis myrskyvaurioille ja jään kertymiselle. Pinnan yläpuolella olevat rakenteet keräävät jäätä ja voivat lisätä painoa merkittävästi.



Kuva 6. Ainakin neljä espanjalaisen Marina System Iberica -yhtiön järjestelmää on käytössä Välime-rellä. Rakennelman pinta-ala on noin 2 500 m². Tukipilarit ulottuvat 9–10 metriä pinnan alle. Kannella on mm. rehuvarasto, generaattori ja pieni miehistöhytti (kuva: Marina Systems Iberica).



Kuva 7. Skotlantilaisen Campbeltown Developments Ltd:n Cruive-kehikko perustuu jäykkiin rakenteisiin.

2.1.3. Upotettavat ja puoliuppoavat järjestelmät

Upotettavia laitoksia ei ole toistaiseksi käytössä yhtä paljon kuin kelluvia ratkaisuja, mutta niiden käyttö lisääntyy erityisen avoimilla alueilla. Saman kasvatustilavuuden investointikustannukset ovat upotettavissa järjestelmissä yleisesti suurempia kuin pinnassa tapahtuvassa verkkoallaskasvatuksessa. Lisäksi ruokinta ja muut käytännön huoltotoimet ovat vaikeampia pinnan alla.

Upottamalla altaat voidaan välttää meren energian aiheuttama rasitus kasvatuslaitteistolle ja kaloille myrskyjen aikana. Upotettavat ratkaisut voidaan nostaa pintaan ruokinnan ja huollon ajaksi, tavallisesti pumpaamalla rakenteisiin ilmaa. Suuretkin kasvatusaltaat saadaan nostettua pintaan noin 15–30 minuutissa. Joissain järjestelmissä kasvatuslaitteet vinsataan pinnan alle merenpohjaan kiinnitettyjen vajereiden avulla. Puoliupotettavat ratkaisut kelluvat pinnassa, mutta kovassa merenkäynnissä aallot pyyhkivät niiden yli. Näin ollen puoliupotettavien verkkoaltaiden kalat voidaan ruokkia pinnassa. Tavallisesti upotettavilla ratkaisuilla ei ole ruokinta-automaatteja, vaan kalat ruokitaan veneestä. Vedenalaisia, kiinteitä ruokintamenetelmiä on kuitenkin jo olemassa, ja niitä kehitetään jatkuvasti.

Upotettavien ratkaisujen eduksi on mainittu, että vesi on syvemmällä tasalämpoisempää eivätkä verkot likaannu yhtä helposti kuin pinnassa. Myöskään kovat olosuhteet pinnassa eivät rasita kaloja, jolloin niiden kasvu, kuolleisuus ja rehutehokkuus saattavat parantua. Upotettavat ratkaisut eivät myöskään näy maisemassa, mikä saattaa vähentää ristiriitoja esimerkiksi virkistyskäytön näkökulmasta. Täysin upotettavilla ratkaisulla voidaan välttää esimerkiksi pintavesissä olevia haitallisia aineita, laivaliikennettä tai muita epätoivottuja vierailijoita. Upotettavat ratkaisut (kuvat 8–14) saattavat olla myrskyisimmillä merialueilla ainoa mahdollinen keino kasvattaa kalaa, jos pinnassa kasvatusta ei onnistu.

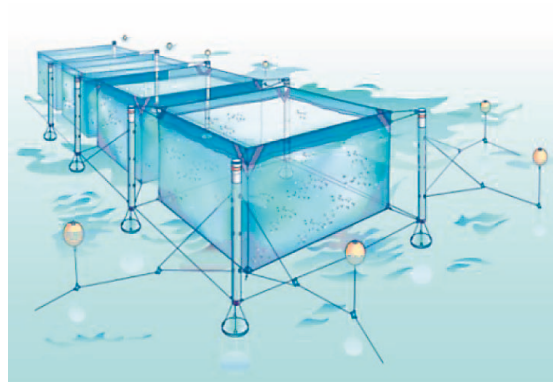
Eräät kalalajit eivät kuitenkaan viihdy koko tuotantokautta upotettuina; esimerkiksi merilohen täytyy välillä päästä pintaan täyttämään uimarakkoaan (Karlsen 2012). Kalat voivat myös kärsiä kasvatusaltaiden nostojen ja laskujen aiheuttamista paine-eroista. Mutta Välimerellä esimerkiksi meribassin (*Dicentrarchus labrax*) ja kultaotsa-ahvenen (*Sparus aurata*) kasvatusta onnistuu mainiosti yli 20 metrin syvyydessä.



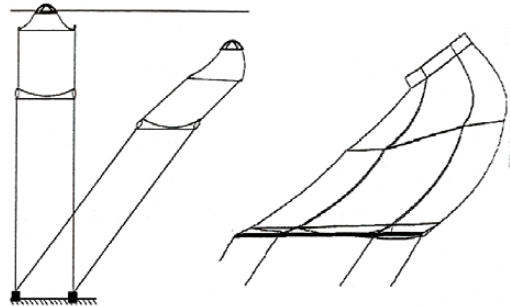
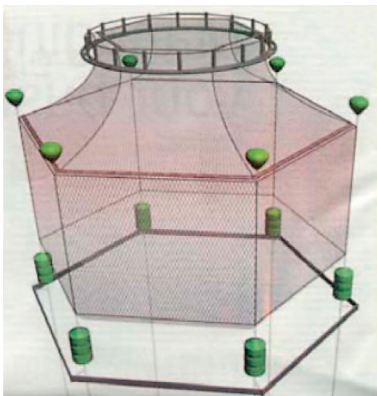
Kuva 8. Tiettävästi ensimmäinen puoliksi upotettava (semi submergable) Farmocean-laitos valmistettiin Ruotsissa 1986, ja niitä on ollut maailmanlaajuisesti käytössä sen jälkeen ainakin 40 kpl. Kehikon päällä on ruokinta-automaatti, jota voidaan ohjata rannasta (kuva: Farmocean).



Kuva 9. Yhdysvaltalaisen OceanSpar-yhtiön SeaStation perustuu altaan keskellä olevaan lieriöön tai poijuun, jonka päihin kiinnitettävien vajereiden ja keskellä olevan upotetun ympyrän muotoisen kehikon varaan verkkoallas pingotetaan. Ainakin 25 järjestelmää on myyty, muun muassa Puerto Ricoon ja Havaijille (kuva: OceanSpar).



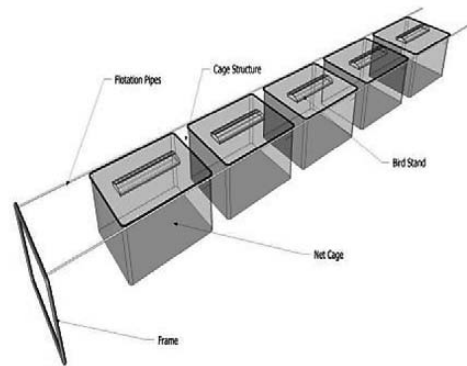
Kuva 10. OceanSpar-yhtiön AquaSpar-ratkaisussa upotettu verkkoallas pingotetaan neljän poiijun varaan. Järjestelmiä on muun muassa Kanadassa (vasen kuva) ja Espanjassa (kuva: OceanSpar).



Kuva 11. Refa Med TLC (Tension Leg Cage) perustuu pohja-ankkuroinnin varaan jännitettyyn allas-rakenteeseen. Altaan syvyys säätyy virtausten mukaan. Raporttien mukaan rakenne on kestänyt ilman vaurioita 8-metrisiä aaltoja (kuva: Refa Med Srl).



Kuva 12. Ocean Farm Technologies valmistaa Aquapod-kasvatukseen. Kehikon sisällä on yhtenäinen verkkoallas. Kehikon voi kiinnittää yhdellä ankkurilla tai useamman kasvatukseen sarjaan ristiankkuroinnilla. Yritykset ovat myös kokeilleet vapaasti ajelehtivaa Aquapod-ratkaisua. Rakennetta käytetään erittäin avoimissa olosuhteissa mm. oka-ahvenen (*Rachycentron canadum*) kasvatuksessa Puerto Ricon ja Panaman rannikoilla Open Blue Sea Farms -yrityksen toimesta sekä piikkimakrillilajin *Seriola rivoliana* kasvatuksessa Havaijilla Kampachi Farms LLC:n toimesta (kuva: Ocean Farm Technology).



Kuva 13. SubFlexin verkkoaltaat toimivat yhden ankkurin menetelmällä. Verkkoaltaat ovat laskettavissa haluttuun syvyyteen. Kasvatukseen käytetään täysin avoimilla alueilla Välimerellä (kuva: Subflex).



Kuva 14. Myös Polarcirkel valmistaa kehikoita, jotka voidaan tarpeen tullen upottaa (kuva: AKVA group).

2.1.4. Verkot

Nailonista tehdyt verkot ovat toistaiseksi yleisimpiä. Uusia, kestävämpiä, paremmin muotonsa säilyttäviä ja helpommin puhtaana pysyviä ratkaisuja kehitetään jatkuvasti. Muita materiaaleja ovat esimerkiksi DSM:n Dyneema ja polyetyleenitereftalaatti (PET) (esimerkiksi AKVA groupin EcoNet). Myös kuparista tai ruostumattomasta teräksestä tehtyjä verkkoja on saatavilla. Nämä ratkaisut tarjoavat hyvän suojan myrskyjä sekä haittaeläimiä vastaan. Materiaalit myös säilyttävät paremmin altaan tilavuuden myrskyissä ja kovissa virtaolosuhteissa. Kuitenkin materiaalien kustannus on suurempi, vaikka ne kestäisivät nailonia kauemmin. Suurissa kasvatuslaitoksissa myös verkkojen paino kasvaa ja näin niiden käsittely vaikeutuu.

Perinteisten verkkoaltaiden muoto ja tilavuus säilytetään erillisten painojen tai meren alle upotettavien kehien avulla, joihin verkko kiinnitetään. Verkkojen ja painojen kiinnitys-kohtat ovat alttiita rikkoutumiselle kovassa aallokossa. Altaiden tilavuuden säilyttäminen on olennaista kalojen hyvinvoinnin takia ja siksi, etteivät esimerkiksi hylkeet pääse vahingoittamaan kaloja. Upotettavissa ratkaisuisa käytetään toisinaan kiinteitä kehikoita tai pingotettua verkkoa, jolloin tukitolppien välinen kasvatus tilavuus saadaan säilytettyä.

Verkkoihin kiinnittyvät eliöt estävät hapekkaan veden virtaamista kaloille ja lisäävät verkkojen painoa. Tämän vuoksi verkkojen puhdistaminen, vaihto tai verkkojen käsittely eliöiden tarttumista estävillä aineilla on tarpeellista. Suuret verkkoaltaat tavallisesti puhdistetaan robottien tai sukeltajien toimesta. Suuria verkkoja ei siten ole tarpeellista vaihtaa tai nostaa puhdistettaviksi usein ja kalojen hyvinvointi voidaan turvata. Verkkoaltaiden puhdistaminen veden alla ja niiden kyllästämättä jättäminen on yleistynyt myös Suomessa.

2.1.5. Ankkurointi

Ankkurointipisteiden lukumäärällä, ankkurin ja köysien materiaalivalinnoilla, joustavuutta lisäävillä poijuilla sekä ankkurijärjestelmän kiinnityksellä kasvatuskehikkoon on oma tärkeä roolinsa rakenteiden kestolle. Ankkuroinnissa olennaista on, että se on joustava eikä siten rasita linjoja tai kiinnityksiä merenkäynnissä (Karlsen 2012). Suuret poijut toimivat tavallisesti iskunvaimentajina ankkuroinnin ja verkkoaltaiden välissä. Suuret yksiköt ankkuroidaan useiden ristikkäisen ankkurointien avulla. Kovimpien tuulien ja virtausten suuntaan asennetaan usein tupla-ankkurointi ja kestävämmät köydet. Ankkurointi tulee määrittää pohjan laadun perusteella; jos pohjan sedimentti on hienorakeista, hyödynnetään tavallisesti koura-ankkureita, jotka pureutuvat pohjaan vedon ansiosta. Jos pohja on kivinen, kiinnityksiä varten voidaan esimerkiksi porata tartunnat kallioon. Erityisen syvillä alueilla on hyödynnetty myös yhden ankkurin tekniikkaa, jolloin useampikin kasvatusallas kiinnitetään kellumaan yhteen ankkurointilinjaan. Suurissa laitoksissa yksittäiset ankkurit voivat painaa yli kymmenen tonnia.

Suuri ankkuriköysien ja poijujen määrä haittaa huoltoaluksen liikkumista laitoksen ympärillä. Tavallisesti yksittäiset verkkoaltaat ovat irrotettavissa järjestelmästä esimerkiksi kalojen perkuun tai altaan huollon takia. Suurten kasvatuskehikoiden valmistajat tarjoavat asiantuntijapalveluita ankkuroinnin suunnitteluun.

Suomessa avointen merialueiden kasvatuksessa veden syvyys ei ole yhtä suuri ongelma kuin monilla muilla avomerikasvatukseen suunnitelluilla alueilla, joilla veden syvyys saattaa olla yli 100 m. Osittain tämän vuoksi viljelypaikkoja pyritään löytämään maailmalla saarten välittömästä läheisyydestä, jolloin laitokset voidaan kiinnittää jopa maihin.

2.2. Ruokintalaitteet

Kaloja ruokitaan joko automaattien avulla tai niin, että ihminen valvoo ruokintaa altaiden vieressä. Kaloja ruokitaan kasvukaudella mieluiten päivittäin, jopa useita kertoja päivässä, jotta kasvu saadaan maksimoitua. Poikkeuksena ovat erityisen kylmät tai lämpimät jaksot ja kalojen perkausta, siirtoa tai muuta rasittavaa käsittelyä edeltävät paastojaksot. Avomerikasvatuksessa olosuhteet voivat rajoittaa erilaisten teknisten automaatiojärjestelmien ja laitteistojen käyttöä. Olosuhteet voivat toisaalta myös estää päivittäiset käynnit altaiden luona.

Nykyisin Suomessa käytössä olevat yleisimmät ruokintalaitetyypit eivät toimi todennäköisesti kovimmissa avomeriolosuhteissa. Esimerkiksi kalojen kosketukseen perustuvat rehuannostelijat, kuten pendel-ruokintalaitteet, todennäköisesti ylikuokkisivat kaloja. Myös altaiden sivuun kiinnitettävien ruokinta-automaattien, kuten Betten, on todettu aiheuttavan ongelmia kovissa avomeriolosuhteissa, koska ylimääräinen kuorma rasittaa ja lopulta rikkoo altaat kovassa aallokossa. Pienien ruokintayksiköiden ongelmana on lisäksi sähkön tuotto ja tekniikan suojaaminen kovilta säiltä.

Avomerikasvatustilojen ruokinnassa ovat maailmalla yleistyneet suuret ja tukevat ruokintalautat (feed barges), joiden kapasiteetti on jopa satoja tonneja (kuva 15). Nämä sijoitetaan ja ankkuroidaan erikseen verkkoaltaiden viereen tai allasryhmän keskelle. Ruokinta tapahtuu tavallisesti paineilmalla putkia pitkin siloilta kasvatusaltaisiin. Suurten rehusiilojen yhteydessä on valvomo ja sosiaaliset tilat työntekijöille. Rehusiiloissa ei ole tavallisesti omaa moottoria, mutta niissä on kuitenkin generaattorit sähkön tuottamiseen. Järeimmät ruokintalautat on Norjassa luokiteltu kestäväksi jopa yli 7-metrisiä aaltoja.



Kuva 15. Erilaisia ruokintalauttavaihtoehtoja. Esimerkiksi AKVA group -yhtiön ruokinta-alusten kapasiteetti on 100–700 tonnia rehua (vasen yläkuva) (kuva: AKVA group). Alukset räätälöidään tuotantomäärien mukaan ja valmistetaan Tallinnassa. Alhaalla vasemmalla on ruokin-talautta Turkista, oikealla Norjasta (kuva: RKTL).

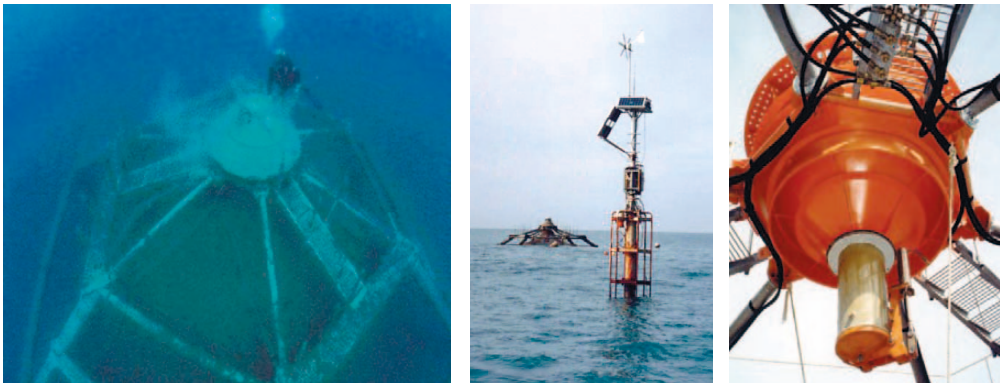
Erittäin kovissa olosuhteissa kuitenkin jopa ruokintalautat ja erityisesti allaskohtaiset rehunsiirotputket saattavat vaurioitua tai toimia huonosti. Myös työnteko lautoilla käy mahdottomaksi. Yritykset ovat tavallisesti maailmalla investoineet ruokintalauttoihin, jos tuotantomäärät ovat riittävät kuolettamaan suuren investoinnin ja olosuhteet ovat riittävän maltilliset (Kankainen ja Mikalsen 2014).

Hyvin avoimilla merialueilla kalat ruokitaan yleensä veneestä (kuva 16). Tällöin kasvatuspaikalle mennään silloin, kun se on olosuhteiden puolesta mahdollista. Vaikka veneestä ruokinnalla pystytään pienentämään myrskyvahinkojen riskejä ja välttämään suuri investointi ruokintalauttaan, vene ei välttämättä ole tuotantotaloudellisesti tehokkain vaihtoehto. Jokainen kasvatusyksikkö joudutaan ruokkimaan erikseen, mikä vie paljon aikaa, ja henkilökunnan on mentävä fyysisesti paikalle, eikä se ole aina huonojen olosuhteiden vallitessa mahdollista. Myös rehutehokkuus saattaa olla automatisoitua ja jatkuvaa ruokintaa huonompi, koska kaloja ruokitaan harvemmin. Lisäksi kalojen kasvu saattaa heiketä, koska kaloja ei päästä ruokkimaan päivittäin.

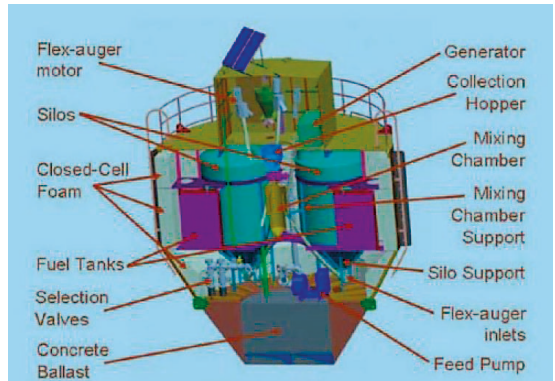


Kuva 16. Ruokintaveneet saattavat olla riskittömämpi ja kustannustehokas ratkaisu avoimilla alueilla. Rehu puhalletaan kasvatusalueille ilman avulla. Vasemmalla ruokintajärjestelmä on asennettu katamaraani-työveneeseen, oikealla Refa Medin rehuvene (kuva: Refa Med Srl).

Jos verkkoallas on upotettu, se voidaan nostaa pintaan veneestä tapahtuvaa ruokintaa varten. Käytössä on myös tapoja ruokkia kaloja pinnan alle (kuvat 17 ja 18). Pinnanalainen putkiruokinta, esimerkiksi pinnalla sijaitsevilta ruokinta-alustoilta, on eräs mahdollinen ratkaisu välttää pinnalla tapahtuva ruokintaputkien vaurioituminen. Rehu on mahdollista paineilman sijasta esimerkiksi sekoittaa veteen ja välittää siten kaloille. Pinnan alla tapahtuvan ruokinnan haasteena on rehun vettyminen ja tasainen levittäminen laajalle alueelle niin, että kaikki kalat saavat riittävästi rehua. Toisaalta pinnalla sijaitsevien rehulevittäjien toimivuus on kyseenalaista todella kovissa olosuhteissa. Jos ruokinta tapahtuu ruokintalautoilta, kasvatusyksiköihin on mahdollista asentaa kalojen ruokintaa seuraavia järjestelmiä, kuten kameroita ja rehulaskureita, joilla voidaan parantaa ruokinnan tehokkuutta ja tarkkailla kalojen hyvinvointia.



Kuva 17. Venäläisvalmisteista SADCOa voidaan käyttää upotettuna tai puoliupotettuna ratkaisuna. Järjestelmiä on käytössä muun muassa Välimerellä, Kaspianmerellä, Mustallamerellä ja Peipsijärvellä. Ratkaisujen yhteyteen on kehitetty energia-viestintäjärjestelmä, jonka avulla hallitaan vedenalaista ruokintaa (oikealla) ja valvotaan kaloja (kuva: GosNIORH, Leonid Bugrov).



Kuva 18. New Hampshiren yliopistossa on kehitetty automaattinen ruokintapöjju, jossa rehu välittyy veden mukana upotettaville kasvatusalustoille (kuva: Ocean Farm Technology).

2.3. Työvenet ja niiden laitteistot

Työvenettä tarvitaan kalankasvatusyksiköiden päivittäiseen huoltoon: rehujen ja kalojen kuljettamiseen, kasvatusverkkojen, -alaiden, poijujen ja ankkurien käsittelyyn. Työveneinä ovat yleistyneet 10–20-metriset veneet, joihin on asennettu nostureita esimerkiksi verkkojen ja rehusäkkien nostamiseen. Norjassa erityisesti katamaraanipohjaiset ratkaisut ovat yleisiä; veneiden matkanopeus on yli 20 solmua ja tasapaino sekä kantavuus ovat hyviä (kuva 19).



Kuva 19. Norjassa merilaitoksilla on käytössä yleisesti leveä katamaraani-työvenetyyppi, jolla on noin 20 tonnin kantavuus. Perässä on yksi tai useampi nosturi, joilla voidaan nostaa rehusäkkejä ja verkkoja (kuvat: RKTTL, AKVA group).

Kuljetuskapasiteetti on veneissä muutaman kymmenen tonnin luokkaa. Tällaisten merikelpoisten työveneidен hinta on arviolta 0,5–2 miljoonaa euroa aluksen koosta, nopeudesta ja varustetasosta riippuen. Myös Suomessa on valmistettu vastaavanlaisia työveneitä (kuva 20).



Kuva 20. Uudessakaupungissa valmistetussa katamaraanipohjaisessa työveneessä on ruokintajärjestelmä sekä vinssi verkkojen ja rehujen nostamiseen (kuva: Rami Salminen, Sybimar Oy).

Nykyisin käytössä olevien työveneidен käyttökelpoisuus ja turvallisuus on kuitenkin kyseenalaistettu todella avoimilla alueilla. Suurten, avomerен lähellä olevien lohенkasvatustalustosten huoltoaluksen pituus saattaa olla 40 metriä ja kantavuus jopa 100 tonnia. Investoinnit aluksiin saattavat olla moninkertaiset muuhun kasvatustalusteistoon nähden (Heide 2012). Nopeisiin tarkastuskäynteihin on tavallisesti käytössä merikelpoiset, pienemmät veneet (kuva 21).



Kuva 21. Avomerilaitosten yleistyessä ja koon kasvaessa on tullut tarvetta jopa yli 40-metrisille aluksille ja suuremmille nostureille sekä kantavuudelle; oikealla merikelpoinen nopea huolto/tarkastusvene (kuva: Ace AquaCulture Engineering).

Esimerkiksi suurilta rehulautoilta ruokittaessa rehutoimitukset saattaa olla järkevää tehdä rahtialuksilla suoraan tehtaalta (kuva 22). Näin logistiikkaa pystytään tehostamaan, kun työaluksilla ei tarvitse siirtää rehua pieniä määriä kerralla. Jos rehutoimitukset toimitetaan suoraan tehtaalta, myöskään rantavarastoja ei välttämättä tarvita. Kyseinen rahtipalvelu saattaa olla tarkoituksenmukaista ulkoistaa, jos kyseessä ei ole todella suuri yritys.

Kalat on mahdollista kuljettaa perattaviksi aluksilla, joihin on suunniteltu säiliöt ja pumput kalojen kuljetusta varten (kuva 22). Toinen vaihtoehto on vetää tai työntää verkot ja kehikot työveneillä sellaisenaan rannan läheisyyteen perkausta odottamaan. Lisäksi erilaisten laitteiden, kuten esimerkiksi verkonpuhdistusrobottien, käyttämiseen on suunniteltu erilaisia veneitä.



Kuva 22. Rehut on mahdollista kuljettaa suoraan tehtaan varastolta kalankasvatyüksiköihin/lauttoihin rahtialuksilla (vasemmalla) (kuva: Ewos). Oikealla kalojen kuljetukseen erikoistunut siirtoalus.

Veneiden ja laitteistojen tarve riippuu siitä, mitä toimenpiteitä kaloille ja kasvatusrakteille tehdään kasvatuksen aikana. Kuolleiden kalojen poisto, kalojen siirto tai lajittelu ei sinänsä vaadi avomeriolosuhteissa uusia laitteistoja, mutta merenkäynti, altaiden suuruus, kehikkojen rakenne ja valitut ruokintamenetelmät vaikuttavat laitteistojen ja työvälineiden valintaan.

2.4. Ohjausjärjestelmät, riskin ja laadun valvontajärjestelmät

Avomerikasvatuksessa päivittäinen käynti verkkoaltailla ei ole aina mahdollista tai järkevää, joten valvontaa ja mittauksia suoritetaan automaattisesti ja valvontaa voidaan tehdä etäisesti esimerkiksi rannassa sijaitsevasta ohjausyksiköstä tai kannettavasta tietokoneesta. Ruokinnan ohjaukseen tarvitaan reaaliaikaista tietoa muun muassa kalojen käyttäytymisestä, veden lämpötilasta ja happipitoisuudesta. Tämä on vakiintunutta mittaustekniikkaa nykyaikaisilla kasvatuslaitoksilla. Ruokinnan ohjaukseen on saatavilla järjestelmiä, jotka havainnoivat kalojen ruokahalua. Järjestelmät havaitsevat, jos rehua jää syömättä, jolloin ne katkaisevat ruokinnan. Allasalueen valvonta tai kalojen aktiivisuuden tarkkailu kameroilla pienentää riskejä ja saattaa parantaa kalojen rehutehokkuutta. Kasvatusaltaisiin on mahdollista saada myös vahingonesto-järjestelmiä esimerkiksi veneliikennettä varten. Tietoa voidaan siirtää langattomasti suoraan valvomoon, mikäli etäisyys ei rajoita tiedon siirtoa. Kaukana olevat kasvatusaltaat voivat tarvita tukiasemia verkon kautta tapahtuvaan tiedonsiirtoon. Pieneen sähköntuotantoon riittävät aurinkopaneelit tai tuuligeneraattorit (kuva 17), mutta ruokintalautojen sähkö tuotetaan aggregaattien avulla. Eräs avomerikasvatuksen ongelmista on sähkön siirto tai tuottaminen kasvatusyksiköille, jos etäisyydet ovat pitkiä ja suuria lauttaratkaisuja gene-raattoreineen ei ole mahdollista käyttää.

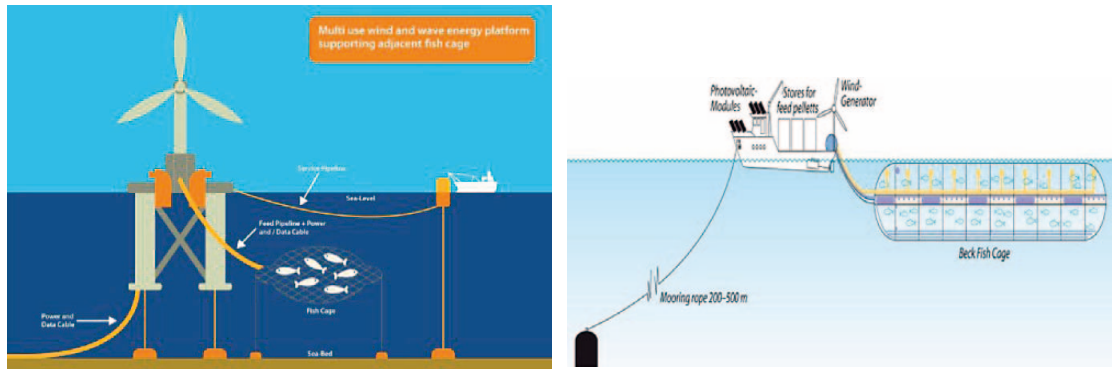
2.5. Suunnittelu, asennus ja avaimet käteen -ratkaisut

Suurimpien toimijoiden tuotteet kattavat laajasti verkkoallaskasvatuksen tarpeet, kuten keihot, verkkoaltaat, ankkurit köysineen, ruokintajärjestelmät ja mittaustekniikan, valvonnan ja jopa tarvittavat työalukset. Useat näistä yrityksistä tekevät myös kasvatuspaikan arviointia, jonka jälkeen tarvittava tekniikka voidaan valita. Haastavissa olosuhteissa kaikkien teknisten ratkaisujen on toimittava saumattomasti yhteen ja sovellettava kasvatustoiminnan rutiineihin. Alalla on myös konsulttiyrityksiä, jotka tekevät merenkäynnin ja allaskehikon liikkeiden mallinnusta kasvatuspaikan tietojen perusteella (mm. Det Norske Veritaksen Riflex-mallinnus).

2.6. Innovatiivisia ratkaisuja kehitetään jatkuvasti

Kasvatusaltaita huoltava yksikkö voidaan rakentaa sellaiseksi, että se kestää pahimmatkin myrskyt. Eräs esitetty synerginen ratkaisu on kiinnittää kasvatusaltaat esimerkiksi tuulivoimaloiden tai öljynporauslaitteiden rakenteisiin (kuva 23). Näissä tapauksissa kiinnitykset suunnitellaan tapauskohtaisesti ja sovitetaan yhteen muiden toimintojen kanssa (Buck 2013). Rasitteena ovat suuret investointikustannukset rakenteisiin, jos mitään synergiaetuja ei ole, kuten tuulivoimaloissa energian myynti.

Toinen mahdollisuus on myrskyn uhatessa upottaa kasvatusaltaat pinnan alle ja ajaa huoltoalus suojaan. Maailmalla on käytössä ja kokeiltu kasvatusjärjestelmiä, joita voidaan liikutella joko kasvatusaltaita hinaavan veneen avulla tai kasvatusaltaassa sijaitsevan oman moottorin avulla. Periaatteessa ohjattavat kasvatusyksiköt toimisivat ruokintalautojen tapaan, mutta ne voidaan ajaa suojaisille alueille, jos myrsky uhkaa. Kalankasvatuksessa on kokeiltu myös ratkaisuja, jotka eivät ole sijaintisidonnaisia. Tällaisia ovat olleet esimerkiksi ajelehtivat kasvatulaitokset, joita voidaan seurata paikantimen avulla.



Kuva 23. Vasemmalla esimerkki siitä, miten kalankasvatustoiminnon voi yhdistää osaksi järeitä kiinteitä rakenteita, kuten tuulivoimalaan (kuva: James Ryan, Aquavision, Irlanti). Oikealla MASS (Marine Aquaculture Service Station) -konsepti, jossa kartionmallinen kasvatusallasjärjestelmä kiinnitetään ja ruokitaan huoltoalukselta, jossa energia tuotetaan tuulivoimalla ja aurinkopaneeleilla. Yritys on myös kehittänyt edelleen MAC-konseptiä, jossa noin 100-metrillä omavaraisella aluksella tuotetaan myös poikaset meressä tapahtuvaan jatkokasvatukseen. Kasvatuskartoita voidaan laittaa monta rinnakkain, jolloin kasvatuskapasiteettia voidaan lisätä (kuva: Siegfried Beck, Gaatem Consulting).

3. Tuotanto-olosuhteiden huomioiminen tekniikan valinnassa

3.1. Tuotanto-olosuhteiden erityispiirteet Itämerellä

Itämerellä talviolosuhteet aiheuttavat haasteita avomerikasvatukselle ja vaikuttavat siten tekniikan valintaan (Kankainen ja Niukko 2014). Jääpeite, kelirikko aika ja ahtojäät tulee huomioida laitteiden ja tuotannon kierron suunnittelussa. Suomen merialueella verkkoallaskasvatuksessa altaat on tuotava avoimilta kasvatuspaikoilta talvella suojaisille paikoille, joilla liikkuvat jäämassat eivät pääse vaurioittamaan rakenteita. Jos altaassa on kaloja, talvehtimispaikat pyritään valitsemaan siten, että valvonta on mahdollista. Kelirikko aikana allasrakenteiden ja kalojen huolto vaikeutuvat, jos kasvatusyksiköt eivät ole välittömästi rannan yhteydessä. Näin kelirikko aikana tarvitaan veneitä, jotka kestävät syystalvella heikon jään ja kevättalvella irtojäät. Jos jääpeitteestä tulee talvella riittävän kestävä, valvonta voidaan suorittaa muilla ajoneuvoilla, kuten moottorikelkoilla, hydrokoptereilla ja mönkijöillä.

Talvella ahtojäät voivat rikkoa tai irrottaa kasvatusrakenteita jopa useiden metrien syvyydessä. Ahtojäiden tiedetään repineen ankkureita pohjasta jään tarttuessa ankkurikettin-keihin. Avomerikasvatuksessa käytettävien ruokintalautojen kestävyyttä ei liene testattu olosuhteissa, joissa muodostuu ahtojäitä tai suuria jäämassojen liikkeitä, vaikka lautat kestävätkin jonkin verran jäätymistä. Kasvatusaltaiden tai rakenteiden osalta eräs esitetty mahdollisuus suojautua jäältä avomerellä olisi upottaa rakenteet jääpeitteen alle. Kalojen tai edes rakenteiden jättäminen talveksi tai kelirikkoajaksi ilman huoltoa on kuitenkin riskialtista. Kalojen jättäminen ilman päivittäistä valvontaa on myös kalojen hyvinvointimääräysten vastaista.

Tyhjien kasvatusrakenteiden jättäminen kasvatuspaikoille olisi kuitenkin mahdollista, jos veden syvyys on riittävä. Ahtojäät saattavat kerrostua kuitenkin useiden metrien paksuisiksi. Tyhjien altaiden upottamisen hyöty on kyseenalainen, erityisesti jos kehikoita käytetään kalojen siirrossa. Toisaalta, jos kalat on jo kuljetettu perkuuseen ja verkot huoltoa varten, voi olla perusteltua jättää kasvatusaltaat odottamaan seuraavaa kasvukautta erityisesti, jos muualla ei ole tilaa säilyttää niitä. Toistaiseksi kasvatusrakenteille on löytynyt säilytyspaikkoja saarten suojista, joissa ahtojäätä ja jäämassojen liikettä ei muodostu. Talvella kasvatusyksiköt eivät aiheuta sisäsaaristossa ristiriitoja muun vesialueen käytön kanssa, koska ravinnekuormitusta ei ole eikä vapaa-ajan viettäjiä ole saaristossa yhtä paljon kuin kesällä.

Itämeren avoimilla alueilla jäät sulavat keväällä nopeammin kuin rannikon läheisyydessä. Kuitenkin suuret vesimassat lämpenevät sisäsaariston paikkoja hitaammin, jolloin paras kasvukausi alkaa ulapalla myöhemmin kuin rannikon lähellä. Vastaavasti syksyn tullessa tuotantorakenteet tulee poistaa aiemmin avomereltä riskien välttämiseksi ennen myrskyjä ja kelirikko aikaa. Kasvukausi ei välttämättä jää kuitenkaan lyhyemmäksi, koska keskikesällä veden lämpötila ei ulapalla nouse rannikkoalueisiin verrattuna helposti liian korkeaksi.

Aallokon korkeuden lisäksi myös aallokon muilla ominaisuuksilla on merkitystä tekniikkaa valittaessa. Itämeressä aaltojen pituus on lyhyempi ja rannikon lähellä aallot saattavat olla terävämpiä kuin valtamerien maininki (Kankainen ja Niukko 2014). Koska aaltojen väli on lyhyt, kasvatusaltaat eivät pääse kellumaan aalloilla, vaan aallot pääsevät rasittamaan

rakenteita eri tavalla. Upotettavien kasvatuserämenetelmien etu Suomessakin olisi terävältä aallokolta suojautuminen. Tällaiset altaat vaativat kuitenkin vähintään 20–30 metrin syvyisen alueen, jotta rakenteet saataisiin riittävän syvälle. Näin syvät alueet ovat harvinaisia Suomen saaristossa. Itämeressä mataluus toisaalta helpottaa kasvusrakenteiden ankkurointia.

3.2. Tekniset standardit ja tekniikan sekä paikan valinnasta Norjassa

Koska avomerikasvatuksen riskit ja investoinnit ovat suuria, potentiaalisten alueiden olosuhteita, kuten virtauksia, aallokoita ja pohjan muotoja, arvioidaan usein etukäteen investointien ja tuotantomenetelmien suunnittelemiseksi. Monet valmistajat ja laatujärjestelmät luokittelevat kalankasvatuslaitteiston sekä ankkurointijärjestelmän olosuhteiden perusteella. Valitun tekniikan on kestävä jatkuvaa voimakasta aallokkoa ja/tai virtausta, mutta tekniikka on mitoitettava myös hetkellisiä ääriolosuhteita varten.

Norjalainen standardi NS 9415 luokittelee merialueet aallonkorkeuden ja virtausten mukaan (NSF 2003). Standardi sisältää runsaasti yleisiä ohjeistuksia sekä ohjeistuksia teknisistä ratkaisuista eri olosuhteisiin. Luokituksen odotetaan yleistyvän myös Norjan ulkopuolella. Luokituksessa annetaan arvoja merkitsevän aallonkorkeuden perusteella A:sta E:hen ja vastaavasti virtausnopeuden perusteella a:sta e:hen. Näiden yhdistelmien perusteella vaativin luokitus Ee on varattu alueille, joilla merkitsevä aallonkorkeus ylittää 3 metriä ja veden virtausnopeus 1,5 metriä sekunnissa. Merkitsevä aallonkorkeus tarkoittaa tietyssä ajassa korkeusjärjestykseen laitettujen aaltojen korkeimman kolmanneksen keskiarvoa, jonka on todettu myös vastaavan merenkulkijoiden arvioimaa aallonkorkeutta. Aallokon korkein yksittäinen aalto on lähes kaksinkertainen merkitsevään aallonkorkeuteen nähden. Edellä mainittujen luokitusarvojen perusteella on tehty vielä yleisempi merialueiden olosuhdekategoriointi neljään luokkaan 1–4.

Norjan NS 9415 -standardin mukaisessa luokittelussa aallonkorkeus määritetään sen mukaisesti, mikä on 50 vuoden aikavälillä odotettavissa oleva korkein merkitsevä aallonkorkeus. Tämä voidaan määrittää 50 vuoden aikajaksolla esiintyvän kovimman 10 minuutin keskituulen (10 metriä meren pinnan yläpuolella mitattuna) ja efektiivisen tuulen pyyhkäisymatkan perusteella (kuva paikan etäisyyttä saariin/mantereeseen eri sektoreissa). Lisäksi määritetään esimerkiksi aallonperiodi (kahden peräkkäisen aallon huipun välissä kuluva aika). Aallonkorkeudet määritetään eri suunnille. Aallonkorkeuksia voidaan määrittää myös muille ajanjaksoille kuin 50 vuodelle. Luokittelussa käytetty virtausnopeus määrittyy puolestaan 10 vuoden aikavälillä tavattavan kovimman 10 minuutin keskiarvon mukaan. Virtausnopeuksia ja virtaussuuntia tulee mitata paikan päällä ainakin neljän viikon ajan eri syvyyksistä. Suoritettujen mittausten perusteella on mahdollista määrittää 10 vuoden aikavälillä esiintyvä suurin keskivirtaus pitkäaikaisten tilastotietojen avulla. Virtausmittauksien suorittamiseen on Norjassa olemassa omat standardinsa.

Lisäksi NS 9415 -standardissa mainitaan, että lumesta, jääolosuhteista ja ajojäästä tulee kerätä tietoa ja arvioida näiden vaikutusta. Lähimpien sääasemien tietoja hyödynnetään. Esimerkiksi kylmällä ja tuulisella säällä voi sateetta tai roiskuvaa merivettä jäätynyttä ja kertyä laitteistoihin. On katsottava, että välineistö on mahdollisesti esiintyvien jääolosuhteiden mukainen. Norjassa tulee myös vuoroveden aiheuttamat vedenliikkeet huomioida ja vedenkorkeuden suhteen tulee selvittää maksimi- ja minimiarvot.

Standardin mukaan tulee ankkurointi- ja kiinnityspaikat merkitä karttoihin ja näiltä osin pohjan topografiaa tulee kartoittaa tarkasti, ainakin 10 x 10 m:n tarkkuudella. Pohjan laatua voidaan selvittää esimerkiksi kaikuluotauksella ja olemassa olevien kartoitustietojen perusteella. Pohjan poikkeavuudet, kuten isot kivet, kallion murtumat ja kohoumat sekä isot kappaleet, tulee merkitä karttaan. Myös merikaapelit ja putkistot on oltava tiedossa. Lisäksi koko alueelta, joka on merkityksellinen kiinnityksen osalta, tulee selvittää pohjan laatua. Pohjan laatu vaikuttaa ankkurien pitävyyteen. Merkityksellistä on, onko pohja-aines kovaa vai pehmeää, ja tärkeää on tietää koostumus, mikäli alueella on sekalaatuista pohjaa. Rakeiden kokoa ja eri rakeiden jakautumisia selvitetään; pehmeiden pohjien osalta tutkitaan, onko aines savea, silttiä, hiekkaa tai seka-ainesta. Pehmeistä pohjista suoritetaan näytteenottoa näytteenottimella tai poralla. Pohjan näytteenottoon on olemassa Norjassa myös omat standardit, ja pohjaan liittyen voidaan tehdä myös muita määryksiä. Pohjan laadun selvittämisessä voidaan hyödyntää myös kaikuluotaustietoja, seismisiä luotaustietoja ja mahdollisesti pohjanläheisiä valokuvia.

Lisäksi alueen laiva- ja veneliikenne selvitetään. Alusten määrä arvioidaan, huomioidaan nopeusrajoitukset ja arvioidaan liikenteestä aiheutuvat riskit. Tulee huomioida myös aluksista lähtevät aallot ja virtaukset sekä näiden mahdollinen vaikutus. Lisäksi aluetta tulee tarkastella alueen muun toiminnan, vapaa-ajankäytön ja huviveneilyn suhteen.

Standardissa mainitaan vielä, että kaikki kvantitatiivinen ja kvalitatiivinen tuotos tulee selvityksissä ilmoittaa mahdollisimman selkeässä ja hyödynnettävässä muodossa. Tähän sisältyy useita karttoja. Menetelmät ja oleellinen informaatio tulee olla saatavissa.

Norjassa tehtyjen selvityksien yhteydessä on voitu mitata lisäksi myös lämpötiloja, suolapitoisuuksia ja happipitoisuuksia eri syvyyksissä. Erityisesti lämpiminä aikoina on tärkeää, että happea on tarpeeksi. Happioloihin liittyen virtauksilla on merkitystä. Pitkään jatkuvat heikot happi- ja ympäristöolot altistavat kaloja taudeille.

Norjan NS 9415 -standardi tuli voimaan vuonna 2004. Standardin voimaan tulon myötä Norjan laitoksista on karannut vähemmän lohia allasrikköjen takia (Jensen ym. 2010). Myös Skotlannissa on vastaava vesiviljelylaitosten välineistön teknisiä ratkaisuja ohjaava standardi, jonka tarkoitus on vähentää teknisistä rikoista johtuvia kalojen karkaamisia (SARF 2012).

3.3. Muun tuotantoketjun huomioiminen avomerikasvatuksessa

Kaikkia tuotannon vaiheita ei voida sijoittaa avomerelle. Poikaslaitoksia ei sijoiteta avomerelle, koska poikaset ja tuotantotekniikka ovat herkempiä rajuille olosuhteille. Esimerkiksi tiheästä hapaasta tehtävät verkkoaltaat eivät pysy muodossaan alueilla, joilla virtaukset ovat voimakkaita. Tiheät hapaaat myös tukkiutuvat helposti, eikä niitä voida huoltaa tai vaihtaa avomerellä jatkuvasti. Koska poikaset ovat herkkiä stressille, niitä on hyvä kasvattaa siellä, missä niitä voidaan tarkkailla jatkuvasti. Myös rehu on erilaista kuin suurilla kaloilla, ja ruokinnan järjestäminen poikasille ei onnistu samoin menetelmin kuin avomerellä. Näin ollen avomerkasvatustilojen lisäksi rannikolla tai sisämaassa tulee olla riittävästi poikasten tuotantoon sopivia laitoksia, joista kalat siirretään avomerialueisiin. Vastaavasti talvisäilytyspaikkojen ja perkuuvalmiiden kalojen säilytyspaikkojen tulee sijaita lähellä rantaa erityisesti kelirikkoaikana, jotta markkinoille saadaan jatkuvasti tuoretta kalaa.

Kirjolohen kasvatukseen avoimilla merialueilla on esitetty tuotantokiertoa, jossa poikaset kasvatetaan nykyisissä laitoksissa sisä- ja välisaaristossa tai maalla olevissa laitoksissa niin suuriksi, että ne saavuttavat avomerellä yhdessä kasvukaudessa yli kahden kilon fileekirjolohen markkinapainon. Yleisesti ottaen avomerellä kasvatusolosuhteet ovat hyvät, koska vesi on happipitoista eikä esimerkiksi lämpötilan nousu pääse vaikuttamaan heikentävästi kalojen kasvuun, koska vesimassat ovat rannikkoalueita suurempia, mutta tuotantokausi saattaa erityisesti syysmyrskyjen takia jäädä lyhyemmäksi (Kankainen ja Niukko 2014). Suomen avomerialueiden lämpötilojen ja myrskyjen vaikutusta kirjolohen kasvuun mallinnetaan parhaillaan (Kankainen, M. ym., julkaisematon).

Jos perkuukokoisen kalan tuotantokierto hidastuu avomerikasvatuksen tuotanto-olosuhteiden takia yhdellä kasvatuskaudella, tarvitaan useampia talvivarastointipaikkoja ja tuotannon riskit sekä kustannukset kasvavat huomattavasti. Lisäksi tuotantokierron piteneminen kasvattaa esimerkiksi kuolleisuuteen liittyvää riskiä.

Itämeren olosuhteissa koko kasvatuskausi olisi tärkeä saada hyödynnettyä kasvatukseen. Avomerikasvatuslaitteiden asennus ja kalojen siirrot avomerilaitoksiin tulisi pystyä tekemään nopeasti keväällä kasvatuskauden alkaessa ja vastaavasti rakenteet tulisi olla nopeasti irrotettavissa suojaan ennen talvea, jotta koko lyhyt kasvatuskausi saadaan hyödynnettyä. Toinen vaihtoehto on kasvattaa poikaset suuremmiksi sisämaan kasvatusyksiköissä esimerkiksi kiertovesilaitoksissa, mutta suurien poikasten kuljettaminen ja hankinta vaikuttaa olennaisesti lopulliseen tuotantokustannukseen.

4. Avomerikasvatuksen kilpailukyky ja haasteet

4.1. Kilpailukykyyn vaikuttavat tekijät

Avomerikasvatukseen siirryttäessä moni tuotannon kilpailukykyyn vaikuttava tekijä muuttuu. Erityisesti investoinnit, mutta myös logistiset kustannukset, kasvavat, kun siirrytään kauemmas avomerelle haastaviin olosuhteisiin. Avomeriolosuhteita kestävä tuotantovälineistö, kuten kasvatusaltaat, ruokintalaitteet ja veneet, ovat kalliimpia kuin sisäsaaristossa tarvittava välineistö (Kankainen ja Mikalsen 2014). Jos huoltoetäisyydet ovat pitkiä, polttoainekustannukset kasvavat ja työaikaa kuluu enemmän. Lisäksi avomeriolosuhteissa kasvukauden pituus, veden lämpötila, tuotantopaikan sääolosuhteet ja ruokinnan järjestäminen saattavat vaikuttaa kalan kasvunopeuteen, kuolleisuuteen tai rehutehokkuuteen.

Uusien tekniikoiden kaupallistuminen riippuu siitä, saavutetaanko investoinneilla kilpailuetuja vakiintuneeseen tuotantotekniikkaan verrattuna. Koska avomeritekniikkaan joudutaan investoimaan enemmän, kilpailuetua on pyritty saamaan kasvattamalla tuotantoyksikkökokoja. Merilohun tuotannossa miljoonien kilojen kasvatusyksiköt, joissa yleisesti käytetään järeitä PE-kehikoita, ovat taloudellisesti kilpailukykyisiä. Suurimmissa lohentuottajamaissa Chilessä ja Norjassa kasvatusyksiköt eivät toistaiseksi sijaitse täysin avoimella merialueella vaan paikoissa, joissa on saarten tai vuonojen antamaa suojaa (ks. luku 1.1, Luokka 3). Näissä paikoissa on ollut mahdollista hyödyntää ja soveltaa perinteistä, kestäväää kasvatustekniikkaa ja tuotanto on tehostunut yksikkökokojen kasvaessa (Asche 2008). Erilaiset upotettavat ratkaisut eivät ilmeisesti ole olleet lohikalojen kasvatuksessa kilpailukykyisiä nykyisiin tekniikoihin verrattuna, koska investointeja ei ole tehty suuressa mitassa useista kokeiluista huolimatta. Upotettavien ratkaisujen käyttö on kuitenkin lisääntynyt, mutta toistaiseksi ne ovat jääneet erittäin avoimien olosuhteiden ja arvokkaiden kalalajien tekniikoiksi.

Peruselintarvikkeissa hinnan pitää olla samalla tasolla jo markkinoilla olevien tuotteiden kanssa, jotta yritys pystyy myymään tuotteensa. Koska Itämeren alueen tärkein tuotantolaji kirjolohi kilpailee samoilla markkinoilla kuin Norjassa kasvatettu merilohi (Setälä ym. 2003), tulisi laitosten keskikokoa Itämerellä kasvattaa merkittävästi kilpailukykyyn parantamiseksi. Suomen kansalliseen sijainninhjaussuunnitelmaan perustuen avomeren reunan on mahdollista sijoittaa huomattavasti nykyisiä tuotantolaitoksia suurempia kasvatusyksiköitä. Avomerellä laitokset voivat olla mittaluokaltaan vielä suurempia. Kankainen ja Mikalsen (2014) ovat arvioineet, että ainakin avomeren reunassa sijaitsevat suuret kasvatusyksiköt ovat kilpailukykyisiä nykyiseen sisä- ja välisaariston tuotantotapaan verrattuna. Tuotantoa tulisi näin ollen ensisijaisesti pyrkiä suuntaamaan avomeren reunalle osittain saarien suojissa oleville alueille, jotta avomeriolosuhteisiin sovellettua perinteistä tekniikkaa ja nykyistä yritysten infrastruktuuria voidaan hyödyntää kasvatuksessa samalla kun tuotantoyksikköjen kokoa voidaan kasvattaa merkittävästi nykyisestä.

4.2. Avomerikasvatuksen haasteet

Kalankasvatuksessa keskeisiksi tekijöiksi tuotannon kasvun mahdollistamiselle on nostettu kestävä tuotannon teemat: kalojen hyvinvointi, ympäristövaikutukset, työntekijöiden turvallisuus ja taloudellisuus (Willumsen ja Lange 2012). Avomerikasvatusta tukevan tuotekehityksen on kyettävä löytämään ratkaisut esimerkiksi alla mainittujen tekijöiden aiheuttamiin haasteisiin, jotta tuotanto voi kasvaa kestävästi. Kaikki haasteet tulee ratkaista siten, että avomerikasvatus liiketoimintana on riittävän kannattavaa, jotta siihen investoidaan.

Maailmanlaajuisesti tunnistettu haaste avoimilla alueilla tapahtuvan kasvatuksen yleistymiselle on, että kaloja ei voida tarkkailla jatkuvasti paikan päällä ja näin esimerkiksi varmistaa niiden hyvinvointia. Etäisyys rannasta ja sääolosuhteet vaikuttavat siihen, että paikalle ei päästä aina eikä nopeasti. Pitkät etäisyydet vaikuttavat lisäksi tiedon tai energian siirtoon, joiden avulla voitaisiin parantaa kalojen seurantaa, vähentää ympäristövaikutuksia ja samalla tehostaa tuotantoa. Lisäksi etäisyydet vaikuttavat huoltotoimintoihin ja niihin liittyviin kustannuksiin. Ympäristövaikutukset tulee arvioida ja tuotantolaitteisto suunnitella siten, että kasvatusympäristön ekosysteemi ei vaarannu.

Haastavat olosuhteet vaikuttavat erityisesti henkilöstön työturvallisuuteen. Veneinvestoinnit suuriin ja turvallisiin aluksiin voivat olla moninkertaisia itse kasvatuslaitteistoon verrattuna. Kalankasvattajat ovat arvioineet avomerikasvatuksen käytännön tuotekehityksen haasteiksi avomerellä (Willumsen ja Lange 2012):

1. Veneiden täytyy olla turvallisia ja käyttökelpoisia kovissa olosuhteissa. Siirtymisiin ei saa kuluu paljon aikaa, ja kasvatustoimintoja helpottavien teknisten ratkaisujen ja kantavuuden tulee olla veneissä hyviä.
2. Työskentelyn tulee olla turvallista veneissä ja kasvatusrakenteiden käsittelyssä kovissa olosuhteissa.
3. Verkkojen tulee pitää tilavuutensa ja olla kestäviä mutta tilavuuteensa nähden kevyitä. Lisäksi verkkojen tulisi suojata kaloja pedoilta, erityisesti hylkeiltä.
4. Verkkojen nostaminen ja niiden asettaminen sekä puhdistus tulisi olla teknisesti toteutettavissa vaikeissa olosuhteissa.
5. Valvonnan teknisiä ratkaisuja, kuten tiedonsiirtoa ja energiantuotantoa, tulee kehittää edelleen.

Itämeressä avomerelle sijoitettav laitosten tulisi olla niin suuria, että ne ovat kustannustehokkaita, mutta toisaalta paikallista ravinnekuormitusta ei tule ylivoimistaa. Itämerellä valitsevien jääolosuhteiden takia on todennäköistä, että kasvatuslaitteet on tuotava talveksi rannikon suojaan. Kasvatuslaitosten asentamisen keväällä ja poistamisen ennen talvea tulisi olla hyvin suunniteltua, nopeaa ja käytännöllistä. Suojattomilla avomeripaikoilla on syytä arvioida, miten Itämeren terävät aallot rasittavat kasvatuslaitteistoa. Syville alueille, joilla saarten tai matalikkojen suoja ei enää ole ja merenkäynti on erityisen kovaa, voi olla tarkoituksenmukaista harkita esimerkiksi uppoavia kasvatusratkaisuja.

Viitteet

- Aguilar-Manjarrez, J., McDaid Kapetsky, J. & Jenness, J. 2014. The what, where and how much of off-shore mariculture: global development opportunities from a spatial perspective. Fisheries and Aquaculture Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Presentation at the Offshore Mariculture Conference in Italy 2014. <http://www.offshoremariculture.com/e-commerce/2014-conference-papers>. [Luettu 29.10.2014].
- Asche, F. 2008. Farming the sea. *Marine Resource Economics* 23: 527–547.
- Buck, B.H. 2013. Upscaling aquaculture operations in offshore environments - challenges and possibilities in Europe. Presentation at SUBMARINER conference, 6.9.2013 Gdansk, Poland. <http://epic.awi.de/34017/>. [Luettu 29.10.2014].
- Heide, M.A. 2012. Service vessels for operation of exposed salmon sites. Presentation at the Offshore Mariculture Conference in Izmir, Turkey 17.–19.10.2012. <http://www.offshoremariculture.com/e-commerce/2012-conference-papers>. [Luettu 29.10.2014].
- Jensen, Ø., Dempster, T., Thorstad, E.B., Uglem, I. & Fredheim, A. 2010. Escapes of fishes from Norwegian sea-cage aquaculture: causes, consequences and prevention. *Aquaculture Environment Interactions* 1: 71–83.
- Kankainen, M. & Mikalsen, R. 2014. Kalankasvatuksen investoinnit ja kilpailukyky avomerellä Suomessa. *Riista- ja kalatalous – Tutkimuksia ja selvityksiä*. (Hyväksytty).
- Kankainen, M. & Niukko, J. 2014. Kalankasvatuksen tuotanto-olosuhteet Suomen rannikolla. *Riista- ja kalatalous – Tutkimuksia ja selvityksiä* 8/2014. 40 s.
- Karlsen, L. 2012. Strengthening and control of cage components. Presentation at the Offshore Mariculture Conference in Izmir, Turkey 17.–19.10.2012. <http://www.offshoremariculture.com/e-commerce/2012-conference-papers>. [Luettu 29.10.2014].
- Maa- ja metsätalousministeriö & ympäristöministeriö 2014. Kansallinen vesiviljelyn sijainninhajaus-suunnitelma. http://www.mmm.fi/attachments/elinkeinokalatalous/pcy2BcprR/Kansallinen_vesiviljelyn_sijainninhajausuunnitelma_2014-06-16.pdf.pdf [Luettu 15.9.2014].
- Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri 2003. Havbrugsudvalget. Udvalget vedr. udviklings-mulighederne for saltvandsbaseret fiskeopdræt i Danmark. Rapport. 109 s.
- NSF 2003. Flytende oppdrettsanlegg, Krav til utforming, dimensjonering, utførelse, installasjon og drift. Marine fish farms, Requirements for design, dimensioning, production, installation and operation. Norsk Standard NS 9415. 75 s.
- Ryan, J. 2004. Farming the Deep Blue. Irish Sea fisheries. Irish Marine Institute. 67 s.
- SARF 2012. A Report Presenting Proposals for a Scottish Technical Standard for Containment at Marine and Freshwater Finfish Farms. Scottish Aquaculture Research Forum, Final Report. 53 s. + liitteet.
- Setälä, J., Saarni, K., Honkanen, A. & Virtanen, J. 2003. SALMAR: Tuloksia eurooppalaisesta lohi-markkinatutkimuksesta. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. *Kala- ja riistaraportteja* 273. 25 s. + liite.
- Willumsen, F.V. & Lange, G. 2012. Exposed industrial farming – experience and needs for development. Presentation at the Offshore Mariculture Conference in Izmir, Turkey 17.–19.10.2012. <http://www.offshoremariculture.com/e-commerce/2012-conference-papers>. [Luettu 29.10.2014].



Itella Green

JULKAISIJA

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

Viikinkaari 4

PL 2

00791 Helsinki

Puh. 0295 301 000

www.rktl.fi