

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 60/2023

Vesiviljelyn innovaatio-ohjelma 2017–2022 loppuraportti

Jouni Vielma (toim.)

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 60/2023

Vesiviljelyn innovaatio-ohjelma 2017–2022 loppuraportti

Jouni Vielma (toim.)



Viittausohje:

Vielma, J. (toim.) 2023. Vesiviljelyn innovaatio-ohjelma 2017–2022 loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 60/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 73 s.

Viittausohje yksittäiseen artikkeliin:

Vehviläinen, H., Kankainen, M., Sinisalo, K. & Pulkkinen, J. 2023. Tuotannon arvon kasvattaminen. Julkaisussa: Vielma, J. (toim.) 2023. Vesiviljelyn innovaatio-ohjelma 2017–2022 loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 60/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 36–41

Pääkirjoittajan ORCID ID, <https://orcid.org/>



ISBN 978-952-380-723-5 (Painettu)

ISBN 978-952-380-724-2 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-724-2>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Jouni Vielma (toim.), Antti Belinskij, Jan-Victor Björkvist, Anna Maria Eriksson-Kallio, Antti Forsman, Tuija Gadd, Elisangela Heiderscheidt,

Riikka Holopainen, Pekka Jounela, Hedi Kanarik, Markus Kankainen, Janne Kaseva,

Antti Kause, Tapio Kiuru, Tiina Korkea-aho, Juha Koskela, Heikki Koskinen, Niina Kotamäki,

Harri Kuosa, Heidi Leskinen, Pia Lindberg-Lumme, Petra Lindholm-Lehto, Olli Malve,

Anna Mikola, Janita Nieminen, Lauri Niskanen, Jari Niukko, Krista Norvasuo, Antti Nousiainen,

Heikki Peltonen, Samu Pettersson, Juhani Pirhonen, Jani Pulkkinen, Matti Salo, Kalle Sinisalo,

Sami Suominen, Tapio Suominen, Janne Ropponen, Marja Tirola, Tuula Tuhkanen,

Harri Vehviläinen, Jani Viisanen ja Satu Viljamaa-Dirks

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2023

Julkaisuvuosi: 2023

Kannen kuva: Jouni Vielma

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

Tiivistelmä

Jouni Vielma (toim.)

Luonnonvarakeskus, Survontie 9A, 40500 Jyväskylä, jouni.vielma@luke.fi

Vesiviljelyn innovaatio-ohjelma oli yksi Euroopan meri- ja kalatalousrahaston (EMKR) rahoittamista kalatalouden innovaatio-ohjelmista. Innovaatio-ohjelmilla haluttiin muodostaa Suomeen suurempia ja pysyvämpiä alan kehittämisen verkostoja. Vesiviljelyn innovaatio-ohjelmaan kuului 10 partneria: Luonnonvarakeskus (koordinaattori), Suomen ympäristökeskus, Ilmatieteen laitos, Ruokavirasto, Suomen Kalankasvattajaliitto, kolme yliopistoa (Aalto, Jyväskylä, Oulu), ammattiopisto Livia sekä Metsähallitus. Verkosto toimi vuosina 2017–2022 ja sen rahoitus oli 5.5 milj. euroa.

Innovaatio-ohjelman painopisteiden valintaan vuonna 2017 vaikutti keskeisesti vesiviljelyn tavoite kestävästä kasvusta ympäristönsuojelun tason kuitenkaan heikentymättä. Sidosryhmiä osallistavan suunnittelun tuloksena tavoitteeseen päätettiin pyrkiä avomeri- ja kiertovesikasvatuksen kehittämisellä sekä huomioimalla muuttuvan elinkeinon tarpeet alan koulutuksessa. Tämä raportti tiivistää verkostotoiminnan keskeiset tulokset ja suositukset jatkotoimiksi.

Uuden merikasvatuksen syntyminen avomerialueelle edellyttää useita toimijoita ja osaamisia yhdistävää tekemistä. Tavoitteena on ohjata uusi tuotanto alueille, joissa vaikutukset eivät vaaranna hyvää ekologista tilaa tai sen saavuttamista. Ohjelmassa kehitettiin uusimpaan paikkatietoon ja kasvatuksen ekologiisiin vaikutuksiin perustuva työkalu Finfarmgis (FINFA), jossa paikkatietojärjestelmän avulla merialueen potentiaalisia kasvatustaikkoja voi arvioida kattavasti erilaisista kestävyysnäkökulmista. Lisäksi tehtiin mm. analyysjä aallokon korkeudesta, ahtojääalueista ja lämpötilaprofiileista avomerikasvatuksen mahdollisuuksien kartoittamiseksi. Työssä kehitettiin ympäristövaikutusten arviointia: satelliittiseurannan, automaattisten mittauspöijujen, läpivirtaus-fluorometri-mittaustekniikan ja perinteisen seuranta-aineiston avulla saadaan aiempaa tarkempi kuva kalankasvatuksen ympäristövaikutuksista. Merikasvatuksen säätelyyn liittyen ehdotetaan, että ravinnekuormituksen oikeudelliset haasteet voidaan paikallisella tasolla ratkaista pitkälti sijainninhjauksen avulla, noudattamalla meristrategiadirektiivin ja Itämeren suojelusopimuksen järjestelmissä määriteltyjä ravinnekuormituskattoja sekä allokoimalla kuormitukset eri toimialojen kesken niiden puitteissa. Innovaatio-ohjelma selvitettiin myös kalankasvatusta valvovien viranomaisten ja yritysten kanssa kuormitusperusteisen luvan edellytykset. Kuormitusperusteisten lupien myöntäminen onkin jo alkanut.

Oman arviomme mukaan merikasvatuksen ympäristövaikutusten ennustaminen, todentaminen ja merikasvatuksen säätelyyn liittyvä työ oli vesiviljelyn innovaatio-ohjelman nopeimmin vaikuttavuutta tuova kokonaisuus. Tällaisen työn jatkaminen kannattaa liittää kiinteästi vuoden 2023 alussa alkaneeseen vesiviljelyn sijainninhjaussuunnitelman päivitystyöhön, ja seurata siinä prosessissa mahdollisesti syntyviä uusia tietotarpeita.

Merikasvatuksen teknologioiden kokeilussa tuotantomittakaavan upotettavan verkkoallaslaitoksen hankinta, käyttö ja kalojen käyttäytymisen tutkimus oli suuri panostus. Upotettavan laitoksen on ajateltu tuovan vaihtoehdon paitsi kasvukauden tuotantoon niin myös talviaikaiseen säilytykseen avomerialueella. Koekäyttö osoitti, että Itämeren avomerialueen olosuhteet

ovat sekä rakenteille että kaloille haastavat ja kirjolohen talvisäilytys upotetussa laitoksessa vaatisi kehittämistä. Pienempiä kokeiluja mm. videokameroiden, verkkoallasta hylkeiden varalta pingottavan pohjaringin sekä hyljekarkottimen käytöstä tehtiin ja konenäköön liittyvä kehitystyö aloitettiin.

Tuotannon arvon kasvattamisen keskeisimpiin haasteisiin etsittiin ratkaisuja erityisesti kasvatuskokeilla, mm. koko tuotantokierron kestävä koe triploideilla kirjolohilla, kiertovedessä (RAS) kasvatetun kuhan jatkokasvatus verkkoaltaissa, siian verkkoallaskasvatuksen kokeet, JALO-kannan kasvuvvertailut meriolosuhteissa ja RAS-kasvatuksessa, sekä RAS-poikasien merikasvatuksen kokeilut. Triploideja kirjolohia verrattiin normaaliin diploidiin parveen kolmen Saaristomeren laitoksen yhteyteen perustetussa kokeessa. Triploidit kirjolohet kasvoivat nopeammin, mutta niillä havaittiin enemmän lieviä muotovirheitä diploideihin kaloihin verrattuna. RAS-kuhan jatkokasvatus verkkoaltaissa onnistui pääsääntöisesti huonosti. Lisäksi kuhan lisääntyneet luonnonsaaliit ovat laskeneet hintoja ja vähentäneet kiinnostusta kiertovesikasvatuksessa. Innovaatio-ohjelmassa havaittiin myös, että parhaat kirjolohen valintajalostusohjelman perheet kiertovedessä eivät ole parhaita perheitä merellä. Aineisto ja tulokset käytettiin RAS-kasvatukseen sopivan kirjolohikannan luomiseksi yritysten käyttöön. Osalla kiertovesikasvatetuista poikasista merivaiheen kasvu jäi jostain syystä erittäin huonoksi. Syy heikkoon kasvuun on tärkeää saada selville, mikäli isoa RAS-poikasta halutaan käyttää merikasvatuksessa.

Yritykset nostivat innovaatio-ohjelmaa edeltävissä keskusteluissa RAS-kasvatuksen vedenlaadun hallinnan ja kalojen hyvän kasvun keskeiseksi selvitettäväksi asiaksi. Vaikka lukuisilla teknisillä keinoilla kalojen olosuhteita voidaan mitata ja parantaa, mikään yksittäinen tapa tai tekniikka ei näytä ratkaisevan kasvatuksen haasteita. Käytännössä prosessin kaikki vaiheet suunnittelusta alkaen laitoksen päivittäisiin rutiineihin asti on hallittava, jotta RAS-kasvatus onnistuu riittävän hyvin. Tuotimme tietoa mm. veden käytön intensiteetin vaikutuksesta kirjolohen ja siian kasvuun ja rehunkäyttökykyyn, vertasimme liikkuvan ja staattisen bioreaktorin eroja ja kokeilimme keinoja vähentää RAS-kalojen stressiä niiden siirtyessä normaaliin veteen esimerkiksi raikastumista varten.

Kiertovesikasvatetun kalan laadun hallinta on menestyvän toiminnan ehdoton edellytys. Innovaatio-ohjelmassa kehitettiin makuvirheitä aiheuttavien yhdisteiden kemiallinen analytiikka, sillä vain mittaamalla pääsee pureutumaan tämän hankalan ilmiöihin syihin ja kokeilemaan systemaattisesti tapoja päästä makuvirheistä eroon. Innovaatio-ohjelmissa tehtiin kokeita ja laadittiin ohjeita mm. riittävän raikastusajan pituudesta ja sekä vedestä makuvirheyhdisteitä poistavien yhdisteiden, kuten otsoni ja vetyperoksidi, käytöstä. Kiertovesilaitosten poistoveden käsittelyyn kehitettiin puuhakereaktorin ja kokeiltiin täysin uusia menetelmiä, mm. rakeisen aktiivilietteen ja alkaliaktivoidun materiaalin käyttöä.

Innovaatio-ohjelman myötä RAS-kasvatuksen osaamista jaettiin mm. yrityksille suunnatuilla teemapäivillä ja viemällä opetusaineistoa verkossa olevaan oppimisympäristöön. Innovaatio-ohjelma laajensi ja syvensi RAS-kasvatuksen tietopohjaa ja osaamista Suomessa, mutta kasvatusta on edelleen pääasiassa taloudellisesti tappiollista. Vaikuttavuus syntyy hitaasti osaavamman työvoiman, aiempaa laadukkaamman kehitystyön ja uusien innovaatioiden kautta.

Upotettavan verkkoaltaan ja RAS-kasvatuksen kokeiluissa huomattiin, että kalojen hyvinvoinnille aiheutuu niissä suurempia riskejä kuin perinteisessä kasvatuksessa. Kalojen hyvinvoinnin riskejä on jatkossa pystyttävä vähentämään. Innovaatio-ohjelmassa tehtiin myös

kohdennettuja kalatautien torjuntaan liittyviä töitä kuten aloitettiin IPN-resistentin emokalaston tekeminen, kehitettiin RAS-laitoksilla vaivaavan RTGE-taudin diagnostiikkaa ja tutkittiin erittäin haitallisen IHN-taudin pikadiagnostiikan kehittämistä yritysten tarpeisiin. Kalojen hyvinvointiin liittyvän tulevan työn priorisointi on käynnistetty osana kalojen hyvinvointiohjelman ja sen verkoston rakentamista.

Yritysten uuden henkilökunnan tarpeessa ja koulutuksesta valmistuvien määrässä on epäsuhta. Ala tarvitsee uusia osaajia. Vaikka vesiviljelyn opetuksen tarve on ilmeinen ja laajalle tunnustettu, ammattiopisto Livian ja yliopistojen vesiviljelykoulutusta uhkaa pikemminkin supistuminen kuin että siihen oltaisiin panostamassa lisää. Työn luonteen takia teoreettinen opiskelu ei pysty vastaamaan osaamistavoitteisiin, vaan tueksi tarvitaan huomattava määrä työssäoppimista. Koulutuksen tueksi laadittiin laaja vesiviljelyä käsittelevä materiaali verkkoympäristöön. Yliopistokoulutukseen liittyen vesiviljelyn innovaatio-ohjelman töistä valmistui yhdeksän maisteritutkinnon opinnäytettä. Vaikka akateeminen tutkimus ei kuulu innovaatio-ohjelman tehtäviin, työn myötä syntyy tieteelliseen julkaisuun kelpaavia aineistoja. Kaksi väitöskirjaa perustuu kokonaan innovaatio-ohjelman aineistoihin, kolmas on valmisteilla, ja neljännestä väitöskirjasta osa sisältää innovaatio-ohjelman aineistoa. Vesiviljelyn innovaatio-ohjelman tuloksista pidettiin noin 70 esitelmää. Kotimaisia raportteja ja tieteellisiä artikkeleita on tätä kirjoitettaessa valmistunut 24 ja 31 kpl.

Innovaatio-ohjelmien tavoitteena oli luoda yksittäisiä hankkeita pysyvämpi, eri toimijatahoja yhdistävä aktiivinen verkosto. Verkostoon saatiin mukaan kattavasti vesiviljelyn kehitystyön kannalta keskeiset sektoritutkimuslaitokset. Yliopistoista löydettiin tutkimusryhmiä, joilla oli kiertovesikasvatuksen kannalta kiinnostavaa osaamista. Merikasvatuksen osalta yliopistoyhteistyö oli vähäisempää, mutta yhteistyö yritysten kanssa tiiviimpää. Muun projektirahoituksen liittäminen vesiviljelyn innovaatio-ohjelman toimintaan onnistui varsin hyvin. Kansallisesti liitännäishankkeita rahoitettiin 3,8 miljoonalla ja kansainvälisellä tutkimusrahoituksella saatiin suomalaisille toimijoille 1,1 miljoonaa euroa. Rahoitusta saatiin mm. merialueen olosuhteita mittaaviin laitteisiin, kalojen konttikasvatuksen kehittämiseen ja tuotteistamiseen sekä vesiviljelyalan ammattikoulutuksen yhteispohjoismaiseen kehittämiseen. Merialueen kasvatukselle tärkeä valtion vesialueiden käytön suunnittelu jatkui ja synergia vesiviljelyn innovaatio-ohjelmaan oli selvä.

Asiasanat: vesiviljely, kalankasvatus, ympäristö, innovaatiot, verkosto, kotimainen kala, koulu-
tus, tekniikka, avomerikasvatus, kiertovesikasvatus

Sisällys

1. Vesiviljelyn innovaatio-ohjelman painopisteet ja verkosto.....	9
1.1. Toimialan tilannekuva 2016–2017.....	9
1.2. Painopisteet ja verkoston muodostaminen.....	10
2. Kalankasvatuksen olosuhteet ja tuotantopaikat.....	13
2.1. Tausta ja tavoitteet.....	13
2.2. Toimet.....	13
2.3. Tulokset ja niiden tarkastelu.....	13
2.4. Yhteenveto, suositukset, ja uuden tiedon tarve.....	17
2.5. Tuotokset.....	17
3. Merikasvatuksen ympäristövaikutukset ja niiden säätely	18
3.1. Tausta ja tavoitteet.....	18
3.2. Toimet.....	18
3.3. Tulokset ja niiden tarkastelu.....	19
3.4. Uuden tiedon tarve ja suosituksia.....	25
3.5. Tuotokset.....	26
4. Merikasvatuksen teknologia	28
4.1. Tausta ja tavoitteet.....	28
4.2. Toimet.....	28
4.3. Tulokset ja niiden tarkastelu.....	29
4.4. Uuden tiedon tarve.....	33
4.5. Tuotokset.....	33
5. Tuotannon arvon kasvattaminen	35
5.1. Tausta ja tavoitteet.....	35
5.2. Toimet.....	35
5.3. Tulokset ja niiden tarkastelu.....	36
5.4. Uuden tiedon tarve.....	39
5.5. Tuotokset.....	40
6. RAS-kasvatuksen vedenkäsittelytekniikka	41
6.1. Tausta ja tavoitteet.....	41
6.2. Toimet.....	41
6.3. Tulokset ja niiden tarkastelu.....	41
6.4. Tulevaisuuden näkymät.....	43

6.5. Tuotokset.....	43
7. RAS-kasvatuksen poistovesien käsittely	45
7.1. Tausta ja tavoitteet.....	45
7.2. Toimet.....	45
7.3. Tulokset ja niiden tarkastelu.....	45
7.4. Poistovesien käsittelyn kehityssuunnat.....	47
7.5. Tuotokset.....	47
8. RAS-kalan laadun hallinta.....	50
8.1. Tausta ja tavoitteet.....	50
8.2. Toimet.....	50
8.3. Tulokset ja niiden tarkastelu.....	51
8.4. RAS-kalan laadunhallinta tulevaisuudessa.....	53
8.5. Tuotokset.....	53
9. Valintajalostus	55
9.1. Tausta ja tavoitteet.....	55
9.2. Toimet.....	55
9.3. Tulokset ja niiden tarkastelu.....	56
9.4. Suositukset jatkotoimiksi.....	56
9.5. Tuotokset.....	57
10. Kalojen hyvinvointi	58
10.1. Tausta ja tavoitteet.....	58
10.2. Toimet.....	59
10.3. Tulokset ja niiden tarkastelu.....	60
10.4. Yleiset nostot ja jatkotutkimustarpeet.....	62
10.5. Tuotokset.....	63
11. Vesiviljelyalan koulutus ja tiedonsiirto	64
11.1. Tausta ja tavoitteet.....	64
11.2. Toimet.....	64
11.3. Tulokset ja niiden tarkastelu.....	65
11.4. Vaikuttavuus ja jatkotoimet.....	66
11.5. Tuotokset.....	67
12. Vesiviljelyn innovaatio-ohjelman vaikuttavuus	68
12.1. Toiminnalliset tavoitteet	68
12.2. Verkostomaisen työskentelyn tavoitteet.....	69

12.3. Spin off-hankkeet.....	70
13. Vesiviljelyn innovaatio-ohjelman hallinto ja viestintä	72
13.1. Aikataulu ja rahoitus.....	72
13.2. Ohjaus ja sopimukset.....	72
13.3. Viestintä.....	73

1. Vesiviljelyn innovaatio-ohjelman painopisteet ja verkosto

Jouni Vielma (Luke)

Vesiviljelyn innovaatio-ohjelma oli yksi Euroopan meri- ja kalatalousrahaston (EMKR) rahoittamista kalatalouden innovaatio-ohjelmista, ja tämä raportti on yhteenveto vesiviljelyn ohjelman toiminnasta. Raportti alkaa toimialan tilannekuvasta vuosina 2016–2017 johdettujen, ohjelmalle valittujen painopisteiden kuvauksella. Sen jälkeen esitellään eri kehittämisteemojen toimia yleisellä tasolla. Yksityiskohtaisempaa tietoa löytyy raporteista, esitelmistä ja tutkimusjulkaisuista, joita on listattu kunkin kappaleen loppuun. Lopuksi pohditaan ohjelman vaikuttavuutta, sekä kuvataan ohjelman hallintoa ja viestintää.

1.1. Toimialan tilannekuva 2016–2017

Euroopan kalatalousrahaston (EKTR) kaudella 2007–2013 Suomen ruokakalan, pääasiassa kirjolohen ja siian, myynti markkinoille oli 11–14 milj. kg, ollen pienimmillään noin puolet 1990-luvun vuosien suurimmista vuosituotannoista (Luken tilastot). Merialueen tuotannon voimakas kasvu oli aiheuttanut huonoilla sijaintipaikoilla paikallisia rehevöitymishaittoja ja kalankasvatuksen ympäristölupia oli leikattu myös yleisten vesiensuojelun tavoitteiden mukaisesti. Ensimmäinen uusi ympäristölupa noin 20 vuoteen merialueella myönnettiin vuonna 2013. Vuonna 2014 vahvistetun vesiviljelyn kansallisen sijainninohjaussuunnitelman myötä tuotannon kasvuun kohdistui odotuksia. Toisaalta ns. Weser-päätöksen sekä vesien- ja merenhoidon kauden tavoitteiden saatettiin katsoa olevan ristiriidassa tuotannon lisäämisen kanssa. Niinpä vuonna 2014 valtioneuvoston periaatepäätös vesiviljelystrategiaksi asetti tavoitteeksi kestäväen kasvun ympäristönsuojelun tason kuitenkin heikentymättä; kasvutavoitteiden ja ympäristönsuojelun tavoitteiden yhteensovittaminen nousi hallinnon keskeiseksi työkaluksi elinkeinon kehittämisessä. 2000-luvun ensimmäisen vuosikymmenen vaihteessa sisävesialueelle oli tullut ja oli suunnitteilla uusia kiertovesilaitoksia ja tekniikan toivottiin tuovan merkittävää tuotannon ja arvon kasvua ilman yhtä suurta ravinnekuormituksen lisääntymistä. Kuva 1 esittää näitä innovaatio-ohjelman suunnittelun kannalta tärkeitä toimialan kehittymisen vaiheita 2000-luvun alussa.



Kuva 1. Ruokakalan tuotanto merialueella (oranssit pylväät) ja sisävesialueella (siniset pylväät) sekä toimialan keskeisiä ympäristösäätelyyn liittyviä tapahtumia vuosina 2000–2016.

1.2. Painopisteet ja verkoston muodostaminen

Vuonna 2014 tehdyn vesiviljelystrategian tavoitteita kestävästä kasvusta tarkennettiin sidosryhmiä osallistavalla EMKR-rahoituksen painopisteiden suunnittelulla. Uudeksi kehittämisen työkaluksi lanseerattiin kalatalouden innovaatio-ohjelmat, joilla haluttiin muodostaa Suomen suurempia ja pysyvämpiä alan kehittämisen verkostoja aiempien rahastokausien yksittäisten hankkeiden rinnalle. Valmisteluvaiheessa kuultiin sidosryhmiä kolmessa vaiheessa. Ensiksi tilaisuudessa, jossa valmistelun suunnitelmat esiteltiin (Helsinki 10.6.2015). Toisessa vaiheessa MMM:n ja Luonnonvarakeskuksen edustajat kävivät kunkin sektorin edustajien kanssa läpi kohteiden ja keinojen priorisoinnin sekä konsortioiden muodostamisen periaatteet. Vesiviljelyn ohjelman osalta tämä tehtiin työpajassa (Helsinki 17.6.2015), jossa elinkeinoa edusti Suomen Kalankasvattajaliiton hallitus. Kolmanteen tapaamiseen kutsuttiin alan sidosryhmät laajasti antamaan palautetta ehdotusluonnoksesta. Tämän 8.–9.10.2015 pidetyn työpajan tuloksena oli ehdotus kahdesta pääteemasta: verkkoallaskasvatuksen kasvuedellytyksiä tukeva kehittämisteema ja kiertovesikasvatuksen perustaa tukeva kehittämisteema. Lisäksi Luonnonvarakeskus oli haastatellut sekä merikasvatuksen että kiertovesikasvatuksen yritysten edustajia vuoden 2015 aikana keskeisten kehityskohteiden kartoittamiseksi. Kahden teknologisen kärkiteeman lisäksi sidosryhmäkeskustelut osoittivat, että koulutus tulee huomioida innovaatio-ohjelmassa poikkileikkaavana teemana alan uudistamiseksi. Kuvassa 2 on vuoden 2015 tilannekuva ja synteesi vesiviljelyn innovaatio-ohjelman valmistelutyön tuloksista (Eskelinen ym, 2015, julkaisematon työraportti). Johtopäätökset mm. itämerirehun mahdollisuuksista kuvaavat sen hetkistä käsitystä alan kehittämisestä.

A		
Luokituksen perusteet		
	Alan kasvun kannalta hyvin tärkeä kehityskohde, jossa innovaatio-ohjelman tuoma lisäarvo voi olla suuri.	
	Alan kasvun kannalta merkityksellinen kehityskohde. Kohteeseen kuuluu osa-alueita, jotka on perusteltua sisällyttää innovaatio-ohjelmaan.	
	Alan kasvun kannalta hyvin tärkeä kehityskohde, jossa voidaan hyödyntää kansainvälistä tietoutta tai sitä toteutetaan Suomessa myös innovaatio-ohjelman ulkopuolella.	
	Voi sisältää tärkeitäkin yksittäisongelmia, jotka on tarpeen ratkaista erillishankkeina.	
B		
Kohdealue		
Teema	Avomeri	Kiertovesi
Ympäristösääätely	Kasvun pullonkaula, etenkin uudet luvat ja lupaprosessin raskaus. Säädöspohja on kansallinen, joten kotimainen kehitystyö tärkeää.	Pienempi ongelma kuin avomeripuolella. Yleiset luvituksen keventämishankkeet hyödyttävät myös kiertovesituotantoa.
Kasvatusteknologiat	Muulla kehitetyt kaupalliset ratkaisut ovat pääosin soveltuvia. Suomessa erityistarpeita talven, Itämeren olosuhteet ja siirrot kestävien ratkaisujen kehittämisessä.	Kaupalliset ratkaisut osittain soveltuvia, kustannus ja toimintavarmuus ongelmia. Suomessa on tarvetta oloihimme sopivien ratkaisujen kehittämiseen.
Tuotantomenetelmät	Omaa kehitystarvetta avomerialojen tuotantokierron ja siihen liittyvän logistiikan (talvisäilytys, poikastuotanto) kehittämisessä ja optimoinnissa sekä ruokinnan kehittämisessä.	Paljon tietotarvetta kasvun ja tuotannon optimoinnissa ja tuotantomuotojen yhdistämisessä.
Kalaterveys ja hyvinvointi	Terveyshallinnan perusta on pääosin sama kuin nykyisessä rannikotuotannossakin. Siirtotarpeet, predaattorit ja myrskyt voivat tuoda uusia selvitys- ja ratkaisutarpeita.	Terveyteen ja hyvinvointiin liittyy suuria riskejä ja mahdollisuuksia ja ne ovat monella tapaa perinteisestä tuotannosta poikkeavia.
Genetiikka	Nykyiset eläinjalostusohjelmat pyörivät jatkossakin. Testaus tapahtuu merellä, joten nykylinjat sopivat avomerituotantoonkin.	Nykyiset jalostusohjelmat pyörivät jatkossakin. Tuotannon laajetessa on tarpeen selvittää, tarvitaanko jalostukseen kiertovesitestaus ja mahdollisesti oma jalostuslinja.
Lajivalikoima	E erityisenä selvitystarpeena siian soveltuvuus avomerialkasvatukseen	Periaatteessa suuri potentiaali uusille lajeille. Kohteiden valinta edellyttää systemaattisia tilannearvioita.
Rehut	Teollisuuden rehukehitys on ollut erittäin tuloksellista. Avomeren tarpeissa ei olennaista eroa rannikotuotantoon. Tärkeä erilliskysymys on itämerirehun tuotanto ja luvitus, joka voi vaikuttaa alan kasvuedellytyksiin.	Rehujen vedenlaatuvaikutukset ovat suuri ja koko prosessin varmuuteen ja tehoon vaikuttava tekijä. Tätä koskeva tieto on universaalia ja aiheen tiimoilta tehdään kansainvälistä työtä.
Tuotelaatu	Ei suuria eroja nykyiseen merituuotantoon. Eriytiskysymys on aiempaa yksihuippuisemman tuotannon vaikutus tuotelaatuun ja jatko- prosessin vaatimuksiin.	Tieto tuotelaadusta ja siihen vaikuttavista tekijöistä puutteellista, tärkeitä kysymyksiä mm. makuvirheet, rasvoittuminen ja sukukypsyys.
Sivuvirrat ja teolliset symbioosit	Sivuvirrat enemmän jalostusteollisuuden kuin tuotannon asia. Merialueiden talouskäyttökäytymiin (tuulivoimapuistot ym.) selvittämisen arvoisia ja kansallisia kysymyksiä.	Vahva symbioosien potentiaali sekä teollisuuden että mahdollisesti muun alkutuotannon kanssa. Olosuhte- ja toimialojen rakenne-erojen vuoksi kansallinen kysymys.

Kuva 2. Vesiviljelyn innovaatio-ohjelman valmistelutyön tuloksena vuonna 2015 syntynyt näkemys alan kehittämisteemoista (Eskelinen ym. 2015).

MMM julkaisi helmikuussa 2016 kalatalouden innovaatio-ohjelmien käyttösuunnitelman, jossa rahoituksen tavoitteet ja hallinnolliset menettelyt kuvattiin. Innovaatio-ohjelmien haun avauduttua syksyllä 2016 etsittiin vesiviljelyn ohjelmaan partnereita, tehtiin innovaatio-ohjelman toimintasuunnitelma ja laadittiin uuden rahoitusmuodon vaatimat hallinnointimallit. Toimet käynnistettiin vuoden 2017 alussa.

Vesiviljelyn innovaatio-ohjelmaan tuli ensimmäiselle kolmivuotiskaudelle 9 partneria ja jälkimmäiselle kaudelle yksi partneri lisää. Kalankasvatusyrityksiä edusti niiden yhteinen etujärjestö Suomen Kalankasvattajaliitto ja lisäksi yrityksiä osallistui yksittäisiin toimiin mm. tarjoamalla käyttöön tiloja tai kokeilemalla teknisiä ratkaisuja tuotannossa.

Vesiviljelyn innovaatio-ohjelman toiminta jaettiin alla oleviin työpaketteihin. Tämän raportin kappaleiden jäsenitys noudattelee pienin muutoksin ohjelman työpakettijakoa.

Avomerikasvatus

- Työpaketti A1. Merikasvatuksen luvitus ja tuotantopaikat
- Työpaketti A2. Avomerikasvatuksen teknologia
- Työpaketti A3: Tehokas tuotantokierto ja tuotannon arvon lisääminen
- Työpaketti A4: Muut kohdennetut innovaatiotoimet

Kiertovesikasvatus

- Työpaketti K1. Tuotannon ja olosuhteiden seuranta yrityksissä
- Työpaketti K2. Vedenlaadun hallinta kiertovesikasvatuksessa
- Työpaketti K3: IPN virustaudin vastustaminen geneettisten markkereiden avulla
- Työpaketti K4. Kiertovesikasvatetun kalan laadun hallinta
- Työpaketti K5: Muut kohdennetut innovaatiotoimet

Koulutus

- Työpaketti E1: Koulutustarpeen kartoitus ja koulutustoiminnan tehostaminen
- Työpaketti E2: Innovaatio-ohjelman muita toimenpiteitä hyödyntävä koulutustoiminta ja tiedonsiirto

Seuraavaksi raportin luvut 2–11 esittelevät vesiviljelyn innovaatio-ohjelman toimintaa. Kunkin kappaleen kirjoittajina ovat työhön eniten osallistuneet henkilöt. Yksittäisiin töihin partnereilta on lisäksi osallistunut muita tutkijoita ja teknistä henkilökuntaa.

2. Kalankasvatuksen olosuhteet ja tuotantopaikat

Markus Kankainen, Lauri Niskanen, Jari Niukko, Pekka Jounela, Matti Salo (Luke); Jan-Victor Björkvist, Hedi Kanarik (Ilmatieteen laitos); Tapio Suominen, Janne Ropponen (Syke) ja Jani Viisanen (Metsähallitus)

2.1. Tausta ja tavoitteet

Kalankasvatuksen kestäväan kasvuun tarvitaan uusia tuotantoalueita. Näiden alueiden olosuhteilla on suuri merkitys sille täyttyvätkö ympäristöluvan myöntämisen ehdot, ja kuinka suurelle tuotannolle luvan voi saada. Innovaatio-ohjelmassa kehitettiin olosuhde-, ympäristö- ja paikkatietoon perustuvaa karttapohjaista työkalua, jotta uusille tuotantolaitoksille osataan etsiä mahdollisimman hyvät sijainnit. Karttapohjaista tietoa voidaan käyttää myös ympäristölupaprosesseissa ja aluesuunnittelussa. Kun uusia alueita tunnistetaan erityisesti ulompana rannikosta, kasvatusolosuhteet tulevat vaativammiksi. Toisena painopisteenä tässä teemassa olikin olosuhdetietojen kerääminen, jota tarvitaan sijainninhjauksen lisäksi muun muassa ankkuroinnin, muun laitteiston sekä kasvatuksen käytännön toimien suunnitteluun.

2.2. Toimet

Innovaatio-ohjelmassa kehitettiin uuteen paikkatietoon ja kasvatuspaikan sijaintiin ja sen vaikutuksiin perustuva työkalu Finfarmgis (FINFA), jossa merialueen potentiaalisia kasvatuspaikkoja voi arvioida eri kriteerejä käyttäen kattavasti erilaisista kestävyysnäkökulmista. Työkalua on käytetty yritysten lupaprosesseissa, merialueen suunnitelmassa ja kaavoitushankkeissa sekä rinnakkaishankkeissa, joissa tutkittiin valtion ja kunnan vesialueiden soveltuvuutta kasvatukseen sekä tehtiin niissä luvituksen edellyttämiä selvityksiä (hankkeet "Kalavaltio" ja "Uudenkaupungin alueen vesiviljelyn kehittäminen").

Meren olosuhdetietojen kuten lämpötilan, aallokon ja jääolosuhteiden perusteella arvioitiin tuotannon kannalta mahdollisia ja taloudellisesti järkeviä sijainteja. Lisäksi arvioitiin mitkä alueet olisivat soveltuvia uudentlaiselle upotettavalle kasvatusteknologialle sekä selvitettiin kirjallisuuteen perustuen upottamisen vaikutuksia kaloille (Kankainen ym. 2021).

Merialuesuunnittelun työpajojen yhteydessä Kokkolassa, Porissa ja Turussa järjestettiin kyselyitä, joissa arvioitiin sidosryhmien ja kansalaisten mielipiteitä tuotannon lisäämisestä ja sijoittamisesta alueellisesti. Näiden lisäksi kartoitettiin mahdollisia Metsähallituksen sisävesialueita kalankasvatukseen.

2.3. Tulokset ja niiden tarkastelu

FINFA- karttapohjainen suunnittelun työkalu

Avomerikasvatuksessa parhaita keinoja vaikutuksien vähentämiseksi on sijainninhjau; Luke on ollut laatimassa kansallista sijainninhjauksuunnitelmaa ja kehittänyt FINFA-työkalua kalankasvatuksen sijainninhjaukseen. FINFA-työkaluun liitettiin vesiviljelyn vuoden 2014 sijainninhjauksuunnitelman kriteerien lisäksi uutta aineistoa. Muodostuvan kokonaisuuden

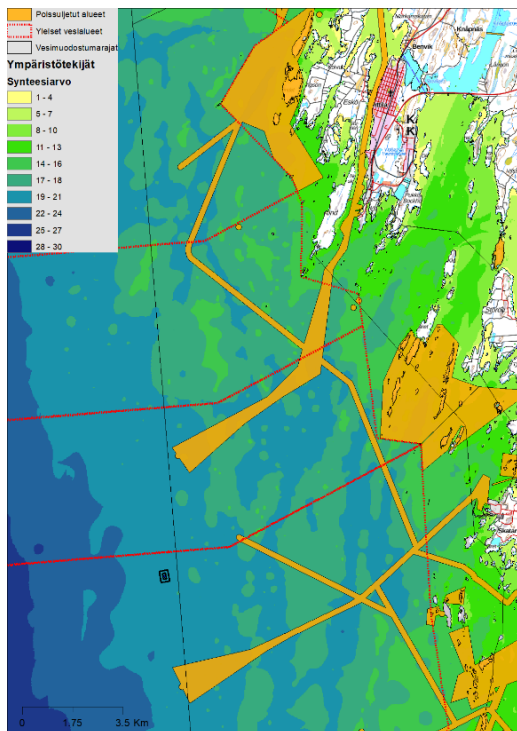
perusteella kasvatuspaikan voi optimoida Suomen merialueilla. Karttapohjaisen työkalun kriteerit ovat:

1. Avoimuus, syvyys ja virtaus
2. Virtausmallien hyödyntäminen ympäristövaikutusten kohdentumisessa
3. Vedenalaiset huippualueet - Zonation ja Emma
4. Ekologisen tilaluokituksen laatuksiteerit – a-klorofyllin satelliittidata
5. Muut kasvatuslaitokset
6. Kasvatuskauden lämpötilan perusteella parhaat tuotantoalueet
7. Aallokkoisuus
8. Huoltoetäisyys
9. Tuotantomääräarvio
10. Virkistysalueet ja loma-asutus

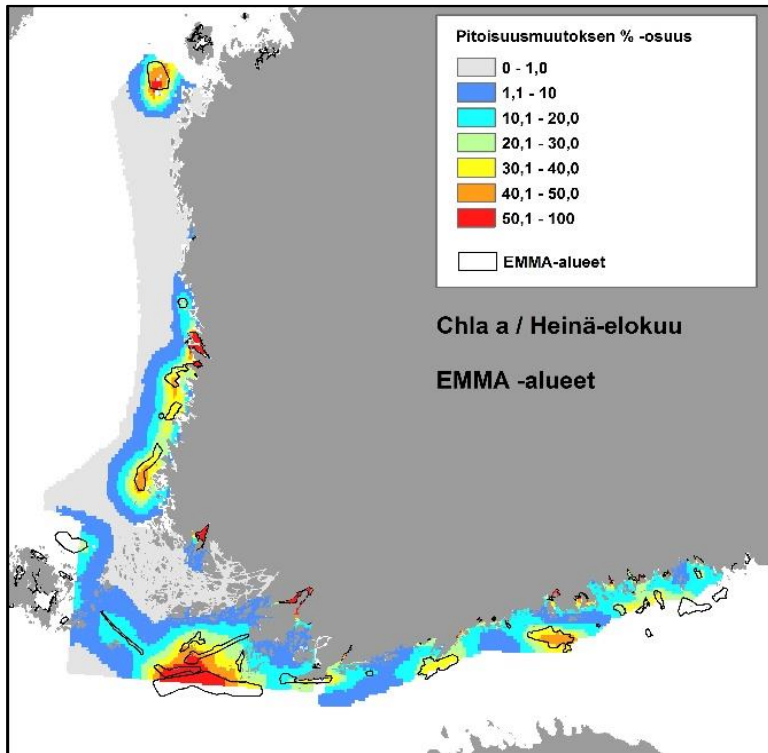
FINFA:ssa Suomen rannikkovedet on jaettu 100 x 100 metrin suuruisiin ruutuihin, joille on jokaisen kalankasvatuksen sijaintiin vaikuttavan tekijän osalta laskettu arvo väliltä 1–5. Tämä arvo kuvaa alueen soveltuvuutta kalankasvatukseen kyseisen tekijän osalta niin, että arvon yksi (1) saavat alueet soveltuvat kalankasvatukseen huonoiten ja arvon viisi (5) saavat parhaiten. Kunkin ruudun lopullinen indeksiarvo muodostuu tekijöiden yhteenlasketusta pistemäärästä. Tekijöitä voidaan arvioida erikseen ja yhdessä.

Ympäristövaikutusten kannalta parhaat sijainnit

Selvitysten perusteella voidaan todeta, että mitä parempia kasvatuspaikan avoimuus, syvyys ja virtaukset ovat, sitä pienempi on paikallinen vaikutus veden laatuun tai pohjaeliöstöön (Kuva 3). FINFA-analyysin lisäksi voidaan käyttää virtausmalleja, joiden avulla ravinteiden kulkeutumista päävirtausten mukana herkille vedenalaisille alueille, kuten EMMA- ja Zonation-alueet, voidaan vähentää (Kuva 4).



Kuva 3. Alueet, jossa avoimuus-, syvyys- ja virtaustekijät kohtaavat parhaiten. Korkeampi luku kuvastaa parempaa kalankasvatuksen sijaintia avoimuus-, syvyys- ja virtaustekijöiden suhteen.



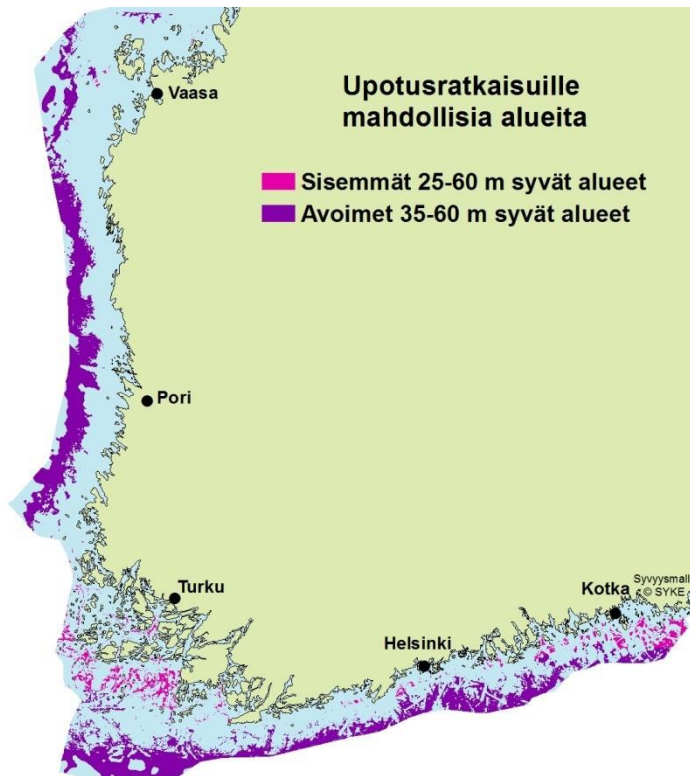
Kuva 4. Kuormituksen ja vedenalaisilta luonnonarvoiltaan merkittäviksi arvioitujen alueiden (EMMA) suhde. Ruudun prosenttiarvo osoittaa, kuinka paljon ruutuun asetetun kuormituksen keskimääräisestä klorofylli a-muutoksesta pintakerroksessa heinä-elokuussa tapahtuu EMMA-alueilla (Suominen ym., käsikirjoitus).

Taloudellisesti järkevät ja tuotannon kannalta mahdolliset sijainnit

Koska erityisesti avomerellä on sijainninohjaussuunnitelman osoittamia alueita, arvioitiin näillä alueilla aallokon suuruutta. Keskimääräinen aallokko voi olla Suomen rannikkoalueella yli 8-metristä ja yksittäiset aallot ovat olleet jopa 14–15 m korkeita. Yritysten kokemuksiin perustuen arvioitiin miten aallokko hankaloittaa toimintoja kasvukauden aikana ja lisäksi laskettiin kasvutappio, mikäli kaloja ei pääse tuulten vuoksi ruokkimaan esimerkiksi 1–5 päivänä kuukaudessa. Norjalaisen ISO-standardin mukaisen maksimiallokoston todennäköisyydestä laadittiin kartta, jota voi käyttää laitosten ja ankkuroinnin suunnittelussa sekä vakuutuksia hankittaessa.

Rannikkoalueen kasvukauden lämpötilaprofiiliin ja kirjolohen kasvumallin avulla arvioitiin esimerkkilaitoksen tuotantomäärän potentiaalia eri merialueilla. Kirjolohi kasvaa nopeimmin Lounais- ja Etelä-Suomen väli- ja ulkosaaristossa, jossa lämpötila ei nouse liiaksi mutta kasvatuskausi on pitkä.

Innovaatio-ohjelmassa tehtiin myös laskennallinen kokeilu, jossa katsottiin myönnettyjen lupien suuruutta erilaisilla alueilla ja mallinnettiin kuinka suuri tuotanto olisi, mikäli luvat olisi myönnetty tarkasteltujen ympäristökriteereiden perusteella yhdenvertaisina kaikille merialueille.



Kuva 5. Mahdollisia kasvatusrakenteiden upotusalueita talvisäilytykseen kansallisen sijainnohjaussuunnitelman mukaisilla alueilla syvyyden, aallokon/avoimuuden ja jääahtaumien esiintymisen mukaan arvioituna.

Sosiaalisten tekijöiden huomioiminen sijainnohjauksessa

Innovaatio-ohjelmassa tehtyä FINFA-kehitystyötä hyödynnettiin Uudenkaupungin alueella toteutetussa hankkeessa, jossa tavoitteena oli löytää parhaat kasvatusalueet Uudenkaupungin merialueelta. Hankkeen yhteydessä toteutettiin kansalaisille suunnattu karttapohjainen kysely kalankasvatuksen mahdollisista sijaintipaikoista. Aineistoa analysoitiin edelleen Luken rahoittamassa Trafish-hankkeessa, jossa vastaajien näkemyksiä kalankasvatuslaitosten perustamisesta yhdistettiin FINFA-työkalun ympäristökriteereihin. Tuloksena syntyvä sentiment-pinta mallintaa ihmisten näkemyksiä eri sijaintien soveltuvuudesta kalankasvatuslaitosten perustamiseen. Kansalaisille suunnatun kyselyn perusteella kalankasvatuksen vastustus vähenee mitä kauempana rannikosta ja lomamökeistä kasvatuslaitokset sijaitsevat, joten laitosten sijainnin suunnittelun yhtenä kriteerinä käytetään kasvatuksen etäisyyttä loma-alueihentymistä ja virkistyskohteista.

Kalankasvatus tuottaa suoraan ja välillisesti yritystoimintaa, työpaikkoja ja verotuloja alueelle. Merialuesuunnittelu-prosessin yhteydessä arvioitiin rinnakkain ympäristövaikutuksia ja taloudellisia hyötyjä erilaisilla tuotantoskenaarioilla. Menetelmiä voidaan käyttää vesiviljelyn sijainnohjaussuunnitelman päivittämisessä 2023–2024.

Metsähallituksen alueet kalankasvatuksessa

Metsähallituksen kanssa määritettiin innovaatio-ohjelmassa ne valtion vesialueet, joissa tuotantoa on mahdollista lisätä. Tiedot vietiin Luken Opendata-palveluun ja siitä viestittiin yrityksille. Metsähallituksen, Luken ja Syken kanssa käynnistettiin rinnakkaishanke Kalavaltio, jossa

pilotoidaan ympäristölupien hakemista valtion omistamille merialueille. Lisäksi sisävesialueilla kartoitettiin Metsähallituksen maa- ja vesialueiden soveltuvuutta kalankasvatukseen. Kartoituksessa sovellettiin Oulu- ja Iijoen vesienhoitoalueen vesiviljelyn sijainninhjaussuunnitelmassa esitettyjä kriteerejä, mutta lisäksi painotettiin erilaisia kiertovesikasvatuksen mahdollisia kriteerejä, kuten pohjavesialueita, maanottoalueita sekä vanhoja kaivosalueita. Vaikka useat Metsähallituksen virtavesikohteet on virkistyskalastuskäytössä, kartoituksessa havaittiin useita potentiaalisia alueita, joissa voitaisiin tarkemmin selvittää kalankasvatuksen mahdollisuutta.

2.4. Yhteenveto, suositukset, ja uuden tiedon tarve

Innovaatio-ohjelmassa on tuotettu FINFA-työkalu sekä valtakunnallisen sijainninhjaussuunnittelun että yksittäisten yrityshankkeiden suunnitteluun ympäristö- ja elinkeinotavoitteet yhteensovittaen. Työkalua voidaan hyödyntää kansallisen sijainninhjaussuunnitelman päivittämisessä sekä esimerkiksi alueellisissa merialuesuunnittelu- ja kaavoitushankkeissa. Lisäksi työkalulla on mahdollista osoittaa poikastuotannolle parhaat alueet, koska sijainninhjaussuunnitelma koskee ainoastaan jatkokasvatusta. Kalankasvatuksen sijainninhjaussuunnitelman ja merituulivoimaan liittyvien suunnitelmien yhdistäminen olisi alueen tehokkaan käytön suunnittelun kannalta järkevää. Virtausmalleja ei ole toistaiseksi käytössä kattavasti Suomen merialueilta, joten niiden hyödyntäminen on alueellisesti rajoitettua ja vaatii lisätyötä. Ekologisen tilaluokittelun kriteereihin liittyvä paikkatieto on paikoin puutteellista. Tuotantoskenaarioiden ympäristö- ja talousvaikutuksia voitaisiin jatkossa käyttää eri merialueiden kuormitusoikeuksista keskusteltaessa.

2.5. Tuotokset

- Björkqvist, J.-V., Tuomi, L., Kankainen, M. & Niskanen, L. 2023. Aallokkohavainnot Selkämerellä – Aallokon vaikutus kalankasvatukseen. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus xx/2023. Käsikirjoitus.
- Kankainen, M., Kanarik H, Björkqvist, J.-V., Niskanen, L., Sinisalo, K. & Niukko, J. 2023. Aallokon vaikutus kalankasvatuksen paikanvalintaan ja suunnitteluun. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus xx/2023. Luonnonvarakeskus. Käsikirjoitus.
- Kankainen, M., Niskanen, L., Salo, M., Jounela, P. & Niukko, J. 2020. Tuotantopaikkojen ja -määrien mallintaminen. Esitelmä 25.8.2020.
- Kankainen, M., Niskanen, L., Salo, M. & Niukko, J. 2020. FINFARMGIS-menetelmän kuvaus. Luonnonvarakeskus open data.
- 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. 34 s.
- Kankainen, M., Janhunen, M. & Niukko, J. 2023. Upotettavan kalankasvatustekniikan mahdollisuudet Itämerellä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus. Käsikirjoitus.
- Kankainen, M., Niskanen, L., Salo, M., Jounela, P., Niukko, J. & Ropponen, J. 2021. Kalankasvatuksen kehittäminen Uudenkaupungin merialueella. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 68 s.
- Salo, M. 2020. Kansalaisten näkemyksiä kalankasvatuksesta Uudessakaupungissa: Maptionnaire karttakysely. Esitelmä 25.8.2020.
- Salo, M. & Niskanen, L. 2021. Merialuesuunnittelulla kohti kestävä kalankasvatusta. Merialuesuunnittelu: MPS-sanomalehti, s. 7.

3. Merikasvatuksen ympäristövaikutukset ja niiden säätely

Olli Malve, Niina Kotamäki, Janne Ropponen, Harri Kuosa, Antti Belinskij, Heikki Peltonen (Syke); Markus Kankainen, Jari Niukko ja Harri Vehviläinen (Luke)

3.1. Tausta ja tavoitteet

Tässä osiossa kehitettiin Suomen rannikkomerialueen vesiviljelyn ympäristövaikutusten arviointia uusimpaan seurantekniikkaan ja olemassa olevaan seurantaan perustuvien ekosysteemimallien avulla, jotta tuotanto voidaan ohjata alueille, joissa vaikutukset eivät vaaranna hyvää ekologista tilaa tai sen saavuttamista. Kuormitusperusteisen luvan käytön edellytyksistä tehtiin esiselvitys. Lisäksi tutkittiin, kuinka ympäristölainsäädäntö, asetukset ja määräykset sekä HO:n ja KHO:n oikeuskäytäntö säätelevät vaikutusten arviointia ja tuotantolaitosten ympäristöluvitusta, erityisesti vesipuitedirektiivin Weser-tapauksen tulkinta huomioiden.

Koska tämän kappaleen teemoihin liittyy yksityiskohtia, joiden muotoiluiden yhteensovittaminen kirjoittajien organisaatioiden kantojen mukaisiksi olisi saattanut viedä aikaa, olemme muista tämän raportin luvuista poiketen lisänneet alakappaleiden kirjoittajat näkyviin.

3.2. Toimet

- Rannikon kokonaiskuormitusmallia eli FICOS-mallia kehitettiin ja käytettiin merikasvatuksen ympäristövaikutusten arvioinnissa.
- Saaristomeren väli- ja ulkosaaristossa seurattiin vuosina 2019–2022 laitosten vesistövaikutuksia uusilla mittausmenetelmillä. Intensiivimittauksia tehtiin Brändön Märklobbenin ja Kustavin Loukeenkarin laitoksia ympäröivällä merialueella automaattipoijuilla, veneessä olevilla läpivirtausmittareilla, perinteisellä vesinäytteenotolla ja luotauksilla sekä satelliiteilla ja droneilla. Mittauksia tehtiin myös esimerkiksi Kustavin Ströömässä, Rymättylässä, Houtskarissa ja Luviolla.
- Vesiviljelyn ja ympäristöolosuhteiden vaikutuksia päällystävään ja pohjaeläimiin analysoitiin ja arvioitiin Ahvenanmaan ja Manner-Suomen kalankasvattamoiden velvoitetarkkailuaineiston tilastollisen seuranta-aineiston perusteella.
- Muutokset ekologisessa tilaluokituksessa arvioitiin vesimuodostumittain vesiviljelyn kannalta kriittisten indikaattoreiden perusteella.
- Vesipuitedirektiivin Weser-tapauksen vaikutus oikeuskäytäntöön ja tulkinta selvitettiin käymällä läpi Vaasan hallinto-oikeuden ja Korkeimman hallinto-oikeuden viimevuosien ratkaisut.
- Kuormitusperusteisen luvan ja itämerirehun käytön edellytyksistä tehtiin esiselvitykset.

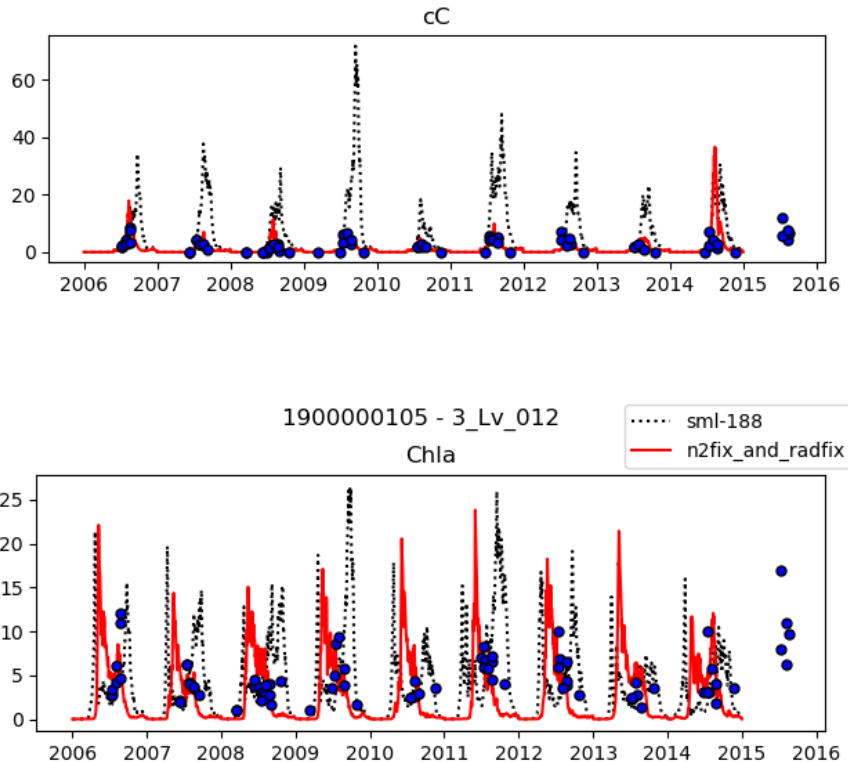
3.3. Tulokset ja niiden tarkastelu

Kalankasvatuksen vaikutusten mallintaminen

Olli Malve, Janne Ropponen ja Harri Kuosa (Syke)

FICOS-malli mahdollistaa ravinteiden päästölähteiden vedenlaatuun kohdistuvien vaikutusten tarkastelun ajallisesti ja paikallisesti tarkasti sekä lähteiden lähiympäristössä että laajemmilla merialueilla. Merenkurkun ja Perämeren kattavan mallialueen valmistumisen myötä FICOS kattaa vuoden 2023 loppuun mennessä Suomen koko rannikon.

Mallin aikaisempi versio kasvatti pääsääntöisesti liikaa sinilevää syksyllä, kun riittävästi ravinteita oli tarjolla. Malliyhtälöt formuloitiin uudelleen niin, että valon väheneminen syksyllä vaikuttaa voimakkaammin leväkasvuun. Malli kuvaa nyt aiempaa paremmin syksyn leväkasvun hiipumisen ja klorofylli-a pitoisuuden vähenemisen (Kuva 6).



Kuva 6. FICOS-mallin laskema sinilevien biomassa ($\mu\text{g N/L}$; ylempi kuva) ja klorofylli-a ($\mu\text{g/L}$; alempi kuva) vesimuodostumassa 3_Lv_012 ennen ja jälkeen yhtälöiden tarkennusta. Katkoviiva = vanha formulointi. Punainen viiva = korjatut yhtälöt. Siniset pisteet = havainnot.

Aikaisemmat BALTSEM-malliin perustuvat ilmakehäkuormitusyötöet on hankkeen aikana vaihdettu HELCOMin vuosittain julkaisemiin alueellisiin typen vuosikuormitusarvioihin (HEL-COM 2022) merialueittain. Hankkeen aikana FICOS-mallia on kehitetty huomioimaan myös

säteilyn alueellinen jakauma mallialueen sisällä. Tällä on erityisesti merkitystä tulevassa Selkämereltä Perämerelle ulottuvassa mallissa, jossa globaalien säteilyn erot mallialueen sisällä pohjoiseteläsuunnassa voivat olla merkittäviä.

FICOS-mallin laskentanopeus on jopa moninkertaistunut. Tätä on hyödynnetty mm. kalankasvatuksen sijainninhjausta tukevassa ja FICOS-mallilla tehtyjä parviajoja hyödyntävässä raportissa (Suominen ym. 2023).

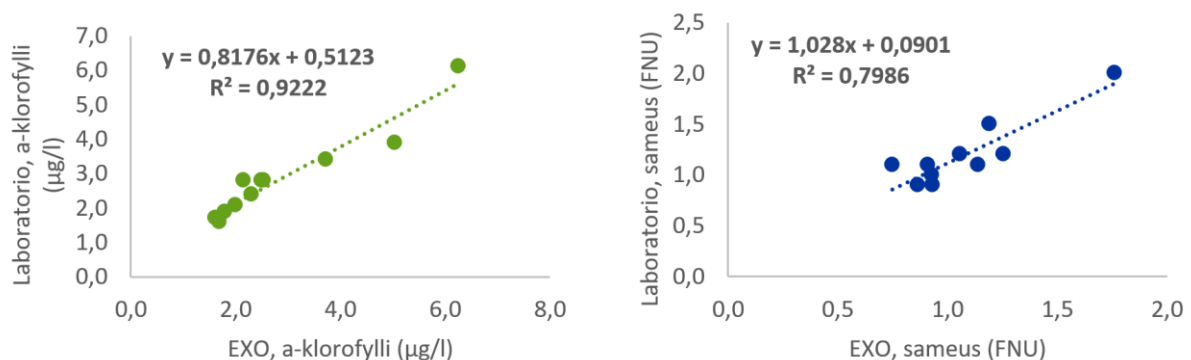
Hankkeessa kehitetyillä menetelmillä on tarkasteltu merikasvatuksen eri kasvatusmäärien vaikutuksia Uudenkaupungin alueen vesimuodostumissa. Tarkastelussa mukana oli kolme skenaariota, jotka sisälsivät 2 180–4 190 tonnin lisäkasvun 4–12 kasvatuspaikassa. Tapausta ja siitä saatuja tuloksia on tarkemmin esitelty julkaisussa Kankainen ym. (2021).

Seurantamenetelmien ja toimintamallien päivitys ja pilotointi

Olli Malve, Niina Kotamäki, Harri Kuosa (Syke); Markus Kankainen ja Jari Niukko (Luke)

Tässä työssä seurattiin Kustavi-Brändö merialueen kalankasvattamoiden vedenlaatuvaikutuksia ja kehitettiin KALA-MONITOR2020-hankkeessa (Kettunen ym. 2015) ehdotettua, viiden vuoden välein toteutettavaa intensiivistä seurantajärjestelmää. Lisäksi otettiin käyttöön Sentinel-satelliittien korkean alueellisen erotuskyvyn sameus ja klorofylli-a tulkinnat sekä automaattiset fluorometri-mittaukset poijuissa ja veneestä. Nämä mittaukset yhdistettiin intensiivisen vesinäytteenoton kanssa, interpoloitiin ajallisesti ja alueellisesti ja tehtiin päivittäiset vedenlaatuksat koko tutkimusalueelta sekä vedenlaadun syvyysprofiilit ja aikasarjat laitoksen ympäriltä.

Vuosina 2019–2020 vedenlaatumittauksia tehtiin automaattisilla mittalaitteilla. Mittauksia jatkettiin ja menetelmää kehitettiin myös vuonna 2021. Vuonna 2022 mittauksia tehtiin kattavammin eri syvyudet huomioiden. YSI EXO2- vedenlaatumittareita (Multiparameter Water Quality Sonde) asennettiin Saaristomeren pohjoisosiin Kihdin pohjoispuolelle myös jatkuva-toimiseen mittaukseen (Kuva 7).



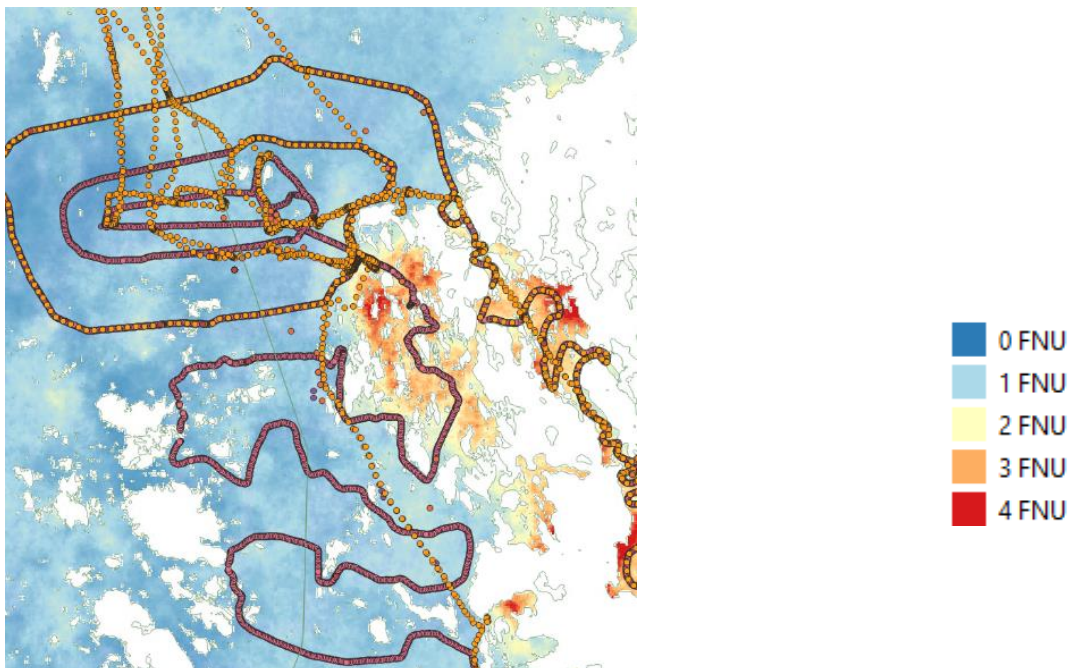
Kuva 7. Katanpään EXO:n sameusarvot (n=10) korreloivat hyvin laboratorioarvojen kanssa ($R^2 = 0,80$) (vasen kuva). Klorofylli-a arvojen (n=11) korrelaatio on vielä vahvempi ($R^2 = 0,92$) (oikea kuva).

Läpivirtausmittauksia tehtiin Pro Litore Ry:n CoastRider-järjestelmällä. Pintavedestä eli puolen metrin syvyydeltä vettä (29 l/min) keräävään läpivirtausjärjestelmään (Scheinin & Asmala 2020) liitetyn EXO2-sondin (Xylem Inc., USA) anturit mittasivat vedestä keskeisimpiä

tilaindikaattoreita eli liukoisen eloperäisen aineksen (fDOM) pitoisuutta, kasviplankton- ja sinileväpigmenttien (a-klorofylli ja fykosyaniini) pitoisuuksia, sameutta, hapen määrää sekä happamuutta. Lisäksi sondissa oli veden lämpötilaa ja suolapitoisuutta mittaava anturi ympäristöolosuhteiden rekisteröintiä varten.

Läpivirtausmittausten yhteydessä tehtiin mittauksia myös orgaanisen aineen kuormituksen vaikutuksista vedenlaatuun ja kasvihuonekaasujen pitoisuuksiin. Läpivirtausjärjestelmään kuului veden hiilidioksidiosapainetta rekisteröivä CO₂ Pro CV -anturi (Pro Oceanus Inc., Kanada) ja veden metaaniosapainetta rekisteröivä Mini CH₄-anturi (Pro Oceanus Inc., Kanada). Kultakin kartoituskerralta tuotettiin tällä tavoin interpoloituja karttoja suolapitoisuuden, lämpötilan, sameuden, liukoisen eloperäisen aineksen pitoisuuden sekä a-klorofyllipitoisuuden osalta. Aineiston pohjalta laskettiin merialueityyppien vertailuarvot sekä poikkeamat niistä laitoksen mahdollisten vedenlaatuvaikutusten arvioimiseksi. Samanaikaisesti toteutetun virtausmittauksen ja aikaisemmin tehtyjen mallinnusten pohjalta arvioitiin vesimassojen liikkeitä sekä kuormituksen kulkeutuminen ja sekoittuminen ympäröiville merialueille.

Sameuden ja klorofylli-a:n vesianalyysit, EXO-mittaukset, läpivirtauskartoitukset ja satelliittitulkinnat luettiin SYKE:n DFS-järjestelmään (Malve ym. 2021a ja 2021b, Gunia ym. 2022) ja aineistot harmonisoitiin ja yhdistettiin järjestelmässä ja niiden pohjalta interpoloitiin päivittäiset sameuskartat ja aikasarjat. Aineistot fuusioimalla saatiin kokonaiskuva sameuden ajallisesta ja alueellisesta vaihtelusta laitoksen ympärillä (Kuva 8). A-klorofylli-arvot ovat meressä yleisesti ottaen hyvin epätasaisesti jakaantuneet. Vedenlaadun laukukas vaihtelu ei ollut sellaisenaan assosioitavissa kalankasvattamon sijaintiin vaan pikemminkin alueen pohjanmuotoihin, tuuliolosuhteisiin sekä havaittuihin ja oletettuihin lateraali- ja vertikaalivirtauksiin.



Kuva 8. Fuusioitu ja interpoloitu sameuden mittausaineisto (vesinäytteiden analyysit, EXO- ja CoastRider-mittaukset sekä satelliittitulkinnat) 3.8.2022. CoastRider-mittauslinjat sekä vesinäyte- ja EXO-mittauspisteet on merkitty kuvaan.

Uusien menetelmien ja tekniikoiden käyttökelpoisuus arvioitiin ja hankkeessa ”Ympäristöhokas kalankasvatus ja kalankasvatuksen ympäristövaikutusten seurantamenetelmien kehittäminen” (Kettunen ym. 2015) kehitetty kalankasvatuksen ympäristöseurannan toimintamalli päivitettiin. Näiden perusteella tehtiin suositukset ja kriteerit seurannan järjestämiseksi jatkossa.

Vaikutukset päällyslevästään ja pohjaeläimiin

Olli Malve ja Niina Kotamäki (Syke)

Kalankasvatuksen vaikutusta perifytoniin ja pohjaeläimistöön arvioitiin erityyppisiltä vesialueilta ja kalankasvattamoilta kerättyihin velvoitetarkkailuaineistoihin perustuvan tilastollisen analyysin perusteella. Esim. Isokariin suunniteltujen laitosten tuotantomäärät ja sijainti määritettiin tämän analyysin tulosten perusteella.

Vesiviljelyn innovaatio-ohjelmassa kerättiin ja analysointiin aineistot erikseen Ahvenanmaan ja Manner-Suomen kalankasvatustilastollisesta velvoitetarkkailusta. Manner-Suomen aineistossa on 12 kalankasvatustilastollisen perifytonin, pohjaläinten ja vedenlaadun velvoitetarkkailuaineisto vuosilta 1989–2020, jotka saatiin Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy:ltä. Laitosten tiedot (sijainti, tuotannon suuruus, paikan avoimuus ja syvyys sekä etäisyys havaintopaikoista) saatiin Lukelta. Laitosten vuosittaiset rehumäärät, rehukerroin ja lisäkasvu haettiin Vahti-järjestelmästä. Tilastollisten ennustemallien perusteella arvioitiin laitosten perifyton- ja pohjaeläinvaikutukset erilaisissa ympäristöolosuhteissa.

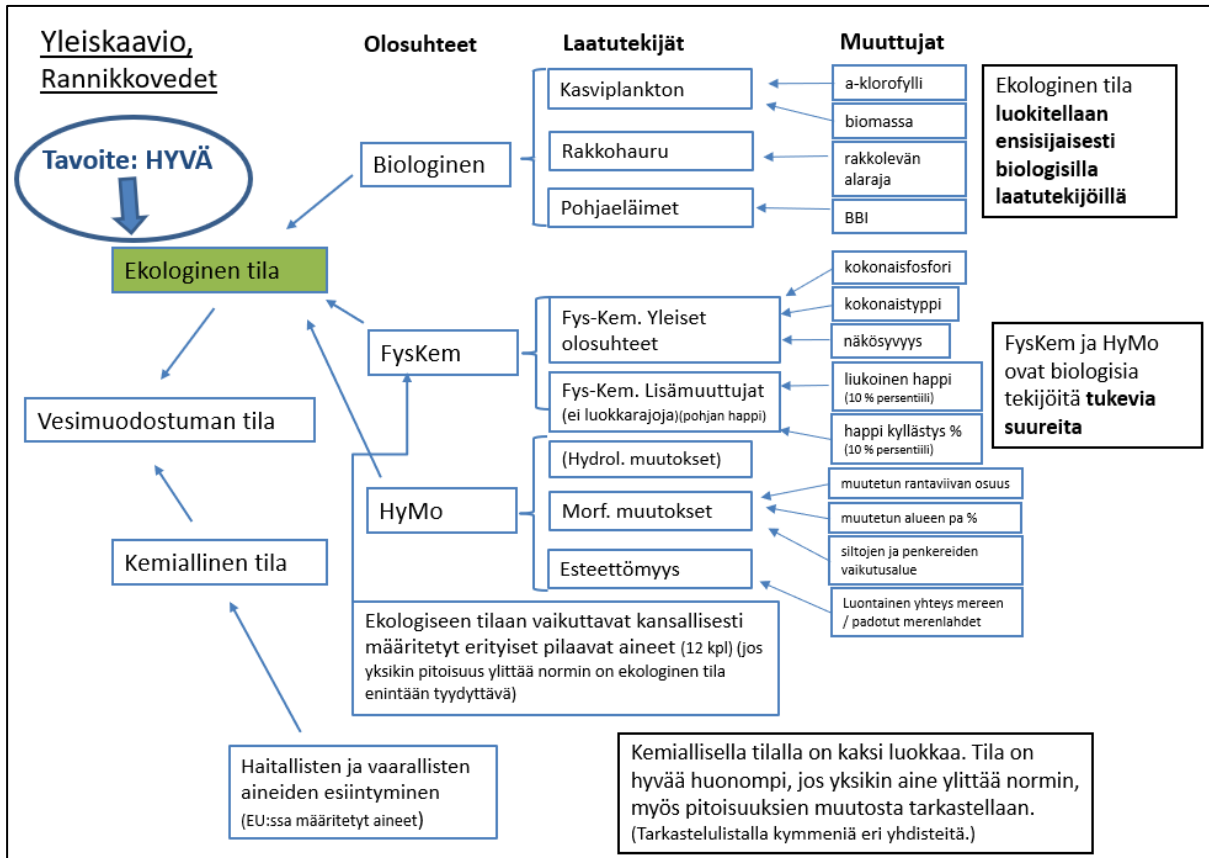
Avoimille vesialueille sijoitettujen isojen laitosten vaikutukset ulottuvat suppealle alueelle (< 1 km²), ja suhteellisen pienillä tuotantomäärän muutoksilla ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta perifytonin kasvuun. Näin ollen suuren tuotannon laitokset tulisi sijoittaa avoimille, syville vesialueille, joissa vedenvaihto on tehokasta, alusvesi sekoittuu hyvin ja paikallisetkin vaikutukset pohjaeläimistöön ja päällyksiin jäisivät pieneksi.

Kalankasvatuksen välillisten vaikutusten arviointi vesieliöstöön on haastavaa, mutta yksinkertaiset tilastolliset syy-seuraussuhteet voivat antaa suuntaa antavia arvioita vaikutusten suuruudesta ja vaikutusalueen laajuudesta. Kalankasvatustilastollisesta velvoitetarkkailusta ei aina ole määritelty referenssi- eli vertailupaikkoja tai ne ovat epäedustavia. Tähän tulee jatkossa kiinnittää erityistä huomiota velvoitetarkkailussa, ja pohjan hapen mittauksia tulee tehdä pohjaeläinseurantojen yhteydessä.

Ekologisen tilaluokituksen indikaattorit ja sijainninhjaus

Markus Kankainen ja Jari Niukko (Luke)

Ekologinen tila on indeksi, joka muodostuu erilaisista indikaattoreista (myöhemmin laatutekijät), joille on annettu vesimuodostumakohtaisia tavoitearvoja. Ennen kun voidaan arvioida, vaikuttaako kalankasvatus kyseisessä vesimuodostumassa hyvän tilan saavuttamiseen, on arvioitava ensin, mitkä laatutekijät ovat vaikuttaneet tilaluokituksen muodostumiseen.



Kuva 9. Vesimuodostumien tilaluokitus muodostuu useista laatutekijöistä.

Innovaatio-ohjelmassa tarkasteltiin useiden kalankasvatustilavien suunnittelukohteiden laatutekijöiden dataa ja tilaluokituksen rakennetta avattiin Gaia Consulting Oy:n erillishankkeeseen. Työssä havaittiin, että tutkimustietoa on koko luokittelujaksolta paikallisesti ja jopa alueellisesti, sekä ajallisesti vain vähän. Kaikista laatutekijämuuttujista ei ole tietyissä vesimuodostumissa lainkaan mitattua tietoa. Näin ollen tilaluokituksen määrittäminen perustuu usein asiantuntija-arvioon.

Jotta kalankasvatuksen vaikutuksia voisi arvioida paremmin, tulisi arvioiden perustua sellaisiin tilaluokittelun muuttujiin, joihin kalankasvatusta kyseisellä alueella vaikuttaa. Tämä parantaisi luvituksen tarvittavaa arviointia hankkeen vaikutuksesta hyvän tilan saavuttamiseen. Vesimuodostumien tilaluokituksen laatutekijöiden tavoiteraja-arvot ovat sisä- ja välisaaristossa ulkoisaaristoa suurempia ja siksi ekologisen luokittelujärjestelmän käyttäminen kalankasvatusta ohjaavana kriteerinä johtaa paikoin epäloogisiin ratkaisuihin. Tästä syystä FINFA-työkalussa ekologinen tilaluokka ei ole tällä hetkellä poissulkevana kriteeri.

Weser-tapauksen tulkita

Antti Belinskij (Syke)

Kalankasvatuksen ympäristöohjaus -osiossa taustalla oli tarve arvioida vesienhoidon ja merenhoidon ympäristötavoitteiden vaikutusta kalankasvatustilavien luvitukseen. Tavoitteina oli arvioida nykyistä oikeustilaa, keinoja kalankasvatusta edistämiseksi ja lainsäädännön muutostarpeita.

Antti Belinskij julkaisi vuoden 2022 lopulla vertaisarvioidun oikeustieteellisen artikkelin Belinskij (2022). Lisäksi hän on osallistunut erilaisiin keskustelutilaisuuksiin aiheesta ja Kalavaltio-hankkeen ohjausryhmään sekä pitänyt esityksiä kalankasvatuksen oikeudellisesta sääntelystä (esim. ympäristöministeriön kalankasvatuspäivä 1.10.2020).

Belinskij'n artikkelissa tarkasteltiin verkkoallaslaitosten ravinnekuormituksen oikeudellista sääntelyä Manner-Suomen merialueilla ja arvioidaan keinoja edistää ympäristöllisesti kestävää kalankasvatusta. Tarkasteltavina keinoina ovat kalankasvatuksen edistämisasiakirjoissa esille tuodut i) kasvatustilastojen sijainninhjaus, ii) päästöperusteisen ympäristöluvan käyttöönotto ja iii) kannustimien luominen ravinnepäästöjä vähentäville ja kompensoiville ratkaisuille. Tarkastelu kiinnitetään paitsi ympäristönsuojelulaissa ja vesipuidedirektiivissä tarkoitettuun paikallisten ja vesimuodostumakohtaisten vaikutusten hallintaan myös meristrategiadirektiivin ja Itämeren suojelusopimuksen mukaisesti merialtaiden ja Suomen koko merialueen skaaloihin.

Artikkelissa esitetään, että verkkoallaslaitoksista aiheutuvan ravinnekuormituksen oikeudelliset haasteet voidaan paikallisella tasolla ratkaista pitkälti sijainninhjauksen avulla. Tämän lisäksi tulee kuitenkin kiinnittää huomiota meristrategiadirektiivin ja Itämeren suojelusopimuksen järjestelmissä määriteltyjen ravinnekuormituskattojen noudattamiseen. Tämä edellyttää kokonaisvaltaista näkökulmaa kuormituksen allokaatioon eri toimialojen kesken. Lisäksi voitaisiin harkita sääntelyn antamista kalankasvatustilastojen aiheutuvan ravinnekuormituksen kompensoimisesta.

Kuormitusperusteinen ympäristölupa

Markus Kankainen ja Harri Vehviläinen (Luke)

Kuormitusperusteisen ympäristöluvan tavoitteena on kannustaa pienempään ominaiskuormitukseen mm. rehuja ja tuotantotapoja kehittämällä. Asian edistämiseksi innovaatio-ohjelmassa perustettiin viranomaisista (AVI, ELY, MMM, YM), yrittäjistä ja tutkimuksesta (Luke, Syke) koostuva työryhmä.

Osapuolet tunnistivat kuormitusperusteisen luvan edut. Keskeisimmäksi kysymyksiä osoitettiin lupaehtojen valvonta, ja kuormitukseen laskentaan liittyvien parametrien todentaminen verkkoallaskasvatuksessa. Yritysten toimittaman dokumentaation perusteella ELY-keskus arvioi, että valvonta on mahdollista. Ensimmäinen kuormitusperusteinen eli päästöperusteinen ympäristölupa myönnettiin merialueelle 2022. Ravinteiden poistamisen menetelmistä kuormituksen kompensointina kalankasvatustilastojen alueella (kuten simpukan, levän kasvatusta, kalastusta) ei vielä työryhmässä keskusteltu, mutta aiheeseen kannattaa palata.

Itämerirehujen käytön edellytykset

Heikki Peltonen (Syke)

Silakan käyttäminen meressä kasvatetun teollisten kalanrehujen raaka-aineena oli pitkään suunniteltavana (mm. Setälä ym. 2016). Ajatuksena on, että kalankasvatusta ei tuota lisää ravinteita mereen, jos kalankasvatuksen tuottamat ravinteet poistetaan silakkasaaliin mukana. Kalajauheteollisuuden aloittaminen Suomessa on osaltaan tukenut tai tukeutunut tähän ajatusmalliin. Silakkaa ja kilohailia sisältäviä rehuja voidaan tehdä myös Suomen ulkopuolella ja Suomen ulkopuolella tehdystä kalajauhosta.

Päästöjen kompensointi kalankasvatuksessa toimii kuten muussakin ympäristöhaittojen kompensatiotarkastelussa vain, jos tuotettu vaikutus on todellinen, mitattavissa, pysyvä ja lisäinen (esim. Moilanen & Kotiaho, 2019). Jokaiseen neljään kriteeriin liittyy haasteita itämerirehukysymyksessä. Jos silakka kalastetaan ja se on syönyt eri alueelta kuin missä kalanviljelyn päästö syntyy, kalastus ei vaikuta suoraan laitosta ympäröivän merialueen ravinnetaseisiin. Lisäksi silakan saaliskiintiöiden vaihtelu silakkakantojen tilan mukaan ja kalastuselinkeinossa tapahtuvat muutokset vaikeuttavat merkittävästi saavutettavissa olevien kompensatioiden ennakointia ja suunnittelua. Edelleen, jos silakkakiintiöt kalastetaan joka tapauksessa, eli kalankasvatuksen rehun käyttö ei vaikuta silakan kalastukseen, ei lisäisyyttä muodostu.

3.4. Uuden tiedon tarve ja suosituksia

Tässä vesiviljelyn innovaatio-ohjelman osiossa kehitettiin ja pilotoitiin vesiviljelyn ympäristövaikutusten arviointiin käytettäviä FICOS- ja muita mallinnus- ja seurantamenetelmiä ja selkeytettiin ympäristölainsäädännön ja vesipuitedirektiivin Weser-tapauksen tulkintoja.

Merenkurkun ja Perämeren kattavan mallialueen valmistumisen myötä FICOS kattaa vuoden 2023 loppuun mennessä Suomen koko rannikon. Sen avulla tarkasteltiin eri kasvatusmäärien vaikutuksia Uudenkaupungin alueen vesimuodostumisissa sekä useiden yritysten luvitusten yhteydessä.

Hankkeessa seurattiin Kustavi-Brändö merialueen kalankasvattamoiden vedenlaatuvaikutuksia ja kehitettiin aiemmin ehdotettua viiden vuoden välein toteutettavaa intensiivistä seurantajärjestelmää. Kehittynyt läpivirtaus-fluorometri-mittaustekniikka (CoastRider) ja satelliittitulkinat sekä niiden fuusiointi perinteisen vesianalyysien kanssa mahdollisti entistä tarkemman ja kattavamman vaikutusten seurannan. Väli- ja ulkosaaristossa virtaukset ja kuormituksen sekoittuminen ovat niin tehokkaita, että siellä sijaitsevien laitosten ei havaittu vaikuttavan suoraan tai välittömästi alueen vedenlaatuun.

Poikkeamia ympäristön tilassa ei kerätyn aineiston perusteella ole mahdollista aukottomasti yhdistää kuormituslähteeseen. Vaikka aineisto olikin sekä resoluutioltaan että kattavuudeltaan aiempaa huomattavasti edistyneempää, ja virtauksia mitattiin ja mallinnettiin aiempaa yksityiskohtaisemmin, sekä havaintopisteiden alueellis-ajallista jakautumista että virtausmittauksia on jatkossa syytä kohdentaa ja synkronisoida entistä paremmin.

Kalankasvatuksen päällyslevä- ja pohjaeläinvaikutuksia arvioitiin velvoitetarkkailuaineistojen tilastoanalyysin perusteella, jonka perusteella vaikutuksia arvioitiin Metsähallituksen Isokarin edustalle suunnittelevalle tuotantoalueelle. Kyseisissä olosuhteissa ulkosaariston avoimella alueella vaikutukset jäänevät hyvin paikallisiksi (<1 km²). Kalankasvatuslaitosten velvoitetarkkailupisteille ei aina ole määritelty referenssi- eli vertailupaikkoja tai ne ovat epäedustavia. Tähän tulee velvoitetarkkailun suunnittelussa kiinnittää huomiota, ja varmistaa pohjan happipitoisuuden mittaukset kuormituksen välillisten pohjaeläinvaikutusten selvittämiseksi.

Ekologisen tilaluokituksen keskeisimmät indikaattorit eli laatutekijät joihin kasvatukselta on todettu vaikutusta ovat a-klorofylli, pohjaeläimet, typpi ja fosfori. Keskeistä on arvioida miten kalankasvatus vaikuttaa alueellisesti ja vesimuodostumatasolla näihin parametreihin. Alueellinen ja ajallinen tieto on puutteellista ja tietopuutteita pystytään uusilla menetelmillä ja tutkimuksen kohdentamisella vähentämään.

Kalankasvatuksen sijainninhjauksessa tai luvituksessa olisi suotavaa keskittyä erityisesti kalankasvatuksen vaikutuksiin ja vähemmän indeksimäiseen ekologiseen tilaluokkaan, jos kasvatuksella on siihen vain välillinen vaikutus.

Verkkoallaslaitoksista aiheutuvan ravinnekuormituksen oikeudelliset haasteet voidaan paikallisella tasolla ratkaista pitkälti sijainninhjauksen avulla, noudattamalla meristrategiadirektiivin ja Itämeren suojelusopimuksen järjestelmissä määritellyjä ravinnekuormituskattoja sekä allokoimalla kuormitukset eri toimialojen kesken niiden puitteissa. Lisäksi voitaisiin harkita sääntelyntamista kalankasvatustiloksista aiheutuvan ravinnekuormituksen kompensoimisesta.

Kuormitusperusteinen ympäristölupa toimii kannustimena ominaiskuormituksen parantamiselle siten, että tuotantomäärää voi lisätä, jos ominaiskuormitus pienentyy. Ravinteiden taaseen laskenta on valvonnassa mahdollista, mutta vaatii yrityksille ohjeistuksen ja velvoitteita.

Kalankasvatuksen ravinnepäästöjen kompensointi käyttämällä Itämeren silakkaa rehuna ei ole edennyt lainsäädäntöön tai luvituksen käytännöksi, koska tuotetun vaikutuksen ei ole katsottu olevan todellinen, mitattavissa, pysyvä ja lisäinen. Jos silakan saaliskiintiö kalastettaisiin joka tapauksessa, ravinnepoisto saaliin mukana ja kalanviljelyn kuorma mereen eivät riipu rehun raaka-ainelähteestä. Jos silakkakiintiötä jää kalastamatta ilman kalankasvatuksen rehu-käyttöä, valinta silakan ja tuontiraaka-aineen välillä voi vaikuttaa merestä saaliin mukana poistuvaan ainemäärään.

3.5. Tuotokset

- Belinskij, A. 2022. Tavoitteiden ristiaallokko – kalankasvatuksen lisäämisestä aiheutuvan ravinnekuormituksen oikeudellinen sääntely Suomen merialueilla. Ympäristöpolitiikka ja -oikeus XV s. 5–49. https://www.edilex.fi/ymparistopolitiikka_-_ja_oikeus/1000890001
- Gunia, M., Laine, M., Malve, O., Kallio, K., Kervinen, M., Anttila, S., Kotamäki, N., Siivola, E., Kettunen, J. & Kauranne, T. 2022. Data fusion system for monitoring water quality: Application to chlorophyll-a in Baltic Sea coast. Environmental modelling and software. ISSN: 1364-8152.
- Kankainen, M. 2022. Sijainninhjauksesta ja ympäristölupaprosesseista. Esitelmä 25.8.2022.
- Kankainen, M., Niskanen, L., Salo, M., Jounela, P., Niukko, J. & Ropponen, J. 2021. Kalankasvatuksen kehittäminen Uudenkaupungin merialueella. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 68 s
- Kettunen, J., Lignell, R., Ropponen, J., Malve, O. & Kotamäki, N. 2015. Kalankasvatuksen ympäristöseurantajärjestelmän kehittäminen. Kalankasvatuksen ympäristöseuranta-järjestelmän kehittäminen (KALA-MONITOR2020) -hankeen loppuraportti. 26 s.
- Kotamäki, N., Malve, O., Käppi, T., Niskanen, L., Nygård, H. & Kankainen, M. 2021. Ahvenanmaan kalankasvatustilosten vaikutukset päällyksileviin ja pohjaeläimistöön. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 85 s
- Kotamäki, N., Malve, O. & Kankainen M. 2021. Ahvenanmaan kalankasvatustilosten veloitettarkkailuaineiston hyödyntäminen sijainninhjauksessa ja vaikutusarvioinnissa. Suomen Kalankasvattajaliiton uutiskirje 6/2021.
- Kotamäki N, Kankainen M. 2022. Kalankasvatustilosten yhdistetty veloitettarkkailu-aineisto kertoo perifytonin ja pohjaeläimistön vaihtelusta. Suomen Kalankasvattajaliiton uutiskirje 12/2022.

- Malve, O., Niukko, J., Hauhia, V., Scheinin, M., Kanarik, H., Kotamäki, J., Ropponen, J. & Kankainen, M. 2023. Kustavin Loukeenkarin kalankasvatamion vedenlaatuvaikutukset vuonna 2022: Ympäristöseurantajärjestelmän päivitys. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus xx/2023. Luonnonvarakeskus. Käsikirjoitus.
- Malve, O., Kallio, K., Siivola, E., Kervinen, M., Kankainen, M. & Keto, V. 2021a. Datafuusio-menetelmän käyttö kalankasvatamoiden vedenlaatuvaikutusten seurannassa Saaristomerellä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 19 s.
- Malve, O., Kallio, K., Siivola, E., Kervinen, M., Kankainen, M. & Keto, V. 2021b. Kalankasvatamoiden vedenlaatuvaikutusten seuranta datafuusion avulla. Vesitalous 3/2021.
- Niukko, J., Kankainen, M. 2021. Vedenlaadun mittauksia kalankasvatustiluksilla : Havaintoja automaattisista mittareista Saaristomerellä 2019–2020. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 41/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 39 s.
- Ropponen, J., 2020. Merikasvatuksen kuormitusten mallinnus rannikon kokonaiskuormitusmallilla. Esitelmä 6.11.2020
- Scheinin, M. & Asmala, E. 2020. Ubiquitous patchiness in chlorophyll a concentration in coastal archipelago of the Baltic Sea. *Frontiers in Marine Science* 7.
- Suominen, T., Ropponen, J., Malve, O., Niskanen, L. & Kankainen, M. 2023. Virtaus- ja vedenlaatumallinnuksen tulosten jälkikäsitteily kalankasvatuksen sijainninhjausta varten. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus xx/2023. Luonnonvarakeskus. Käsikirjoitus.

4. Merikasvatuksen teknologia

Markus Kankainen, Kalle Sinisalo, Harri Vehviläinen, Jari Niukko, Pia Lindberg-Lumme (Luke); Sami Suominen (Lännenpuolen lohi) ja Antti Forsman (Livia)

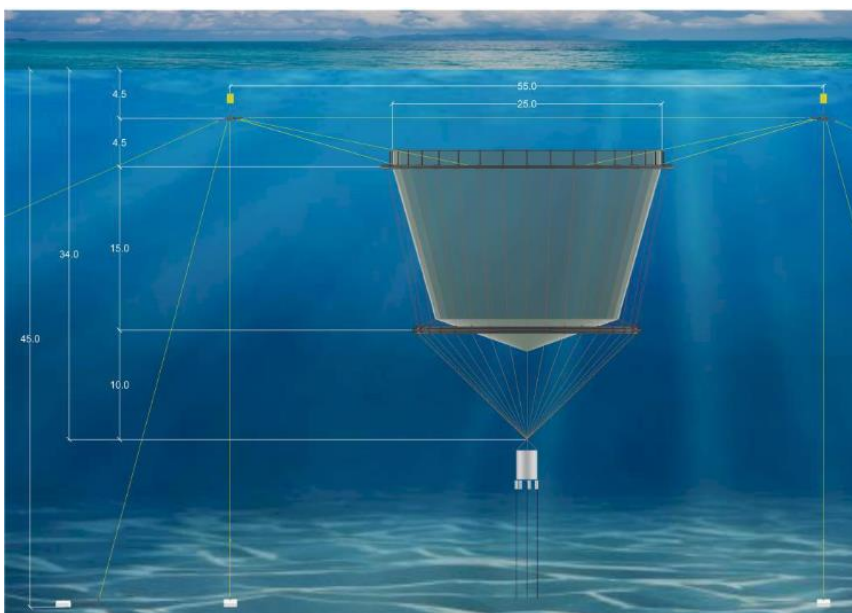
4.1. Tausta ja tavoitteet

Merikasvatuksen tuotannon on arvioitu kasvavan erityisesti avomerialueella. Toistaiseksi tuotanto on painottunut sisä- ja välisaaristoon, eikä yrittäjillä ole kokemusta avoimien alueiden kasvatustekniikoista tai toimintatavoista. Laitosten etäisyys tukikohdista ja mahdollinen jään muodostuminen aiheuttavat logistisia haasteita kasvatuksen järjestämiselle ja tehokkuudelle. Tämän osion tavoitteena oli arvioida eri tuotantomenetelmien käyttökelpoisuutta ja kehittää teknologisia ratkaisuja, joita yritykset voivat jatkossa hyödyntää erityisesti Itämeren avomerialueilla.

4.2. Toimet

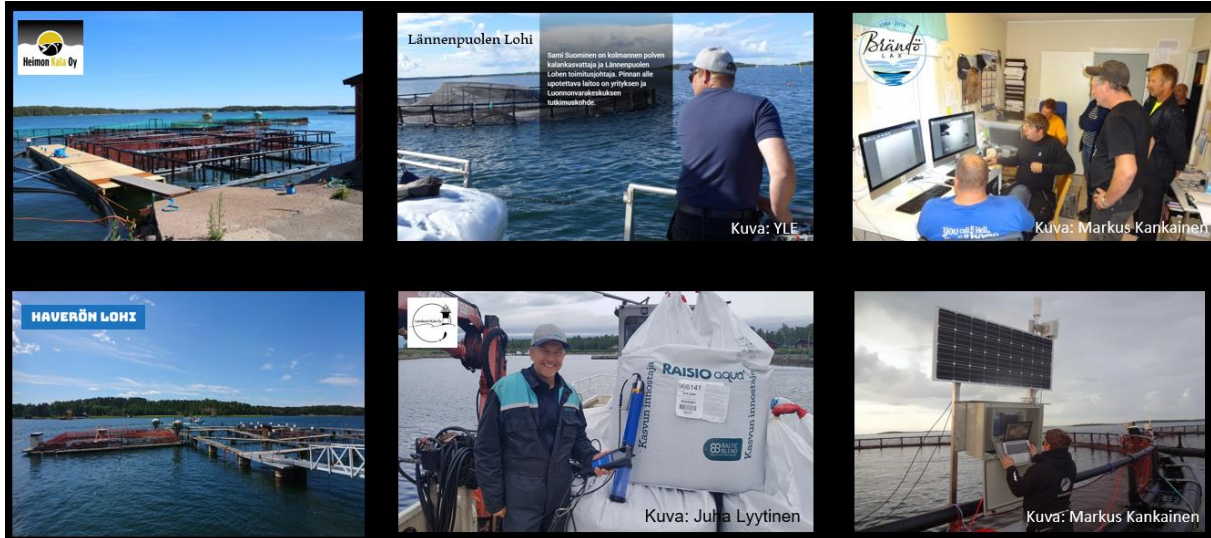
Teeman puitteissa tutustuttiin alan kehitykseen messuilla, konferensseissa ja käytiin erilaisilla kasvatuslaitoksilla tavoitteena löytää Suomen olosuhteisiin käyttökelpoisia teknologioita. Tutustumismatkat suuntautuivat kolmesti Norjaan, lisäksi Kanadaan, Italiaan ja Islantiin. Norjan puolisoljetuista merilaitoksista ja lupakäytänteistä tehtiin kirjallisuusselvitys. Kiertovesikasvatuksen ja avomerikasvatuksen yhdistämisen tekniikkaa, taloutta, riskejä ja tuotantokiertoja selvitettiin. Koetoiminnasta ja laitosvierailusta kerättiin materiaalia Livian toimesta opetus- käyttöön.

Tuotantomittakaavan upotettavan laitoksen hankinta, käyttö ja kalojen käyttäytymisen tutkimus oli tämän osion suurin yksittäinen panostus. Upotettava laitos voisi tuoda vaihtoehdon kasvukauden tuotantoon ja talviaikaiseen säilytykseen avoimilla alueilla (Kuva 10).



Kuva 10. Havainnekuva kalankasvatuslaitoksesta upotettuna. (Badinotti Group).

Etäruokinta- ja -valvontaratkaisut lisäävät tehokkuutta erityisesti, jos laitokset sijaitsevat kaukana tukikohdista. Norjassa lohienkasvatuksessa yleisesti käytössä olevaa kaupallista kamera-teknologiaa kokeiltiin Itämeren olosuhteissa ja aloitettiin konenäköratkaisuihin liittyvät kehitystoimet. Lisäksi kokeiltiin muun muassa hyljekarkotinta. (Kuva 11).



Kuva 11. Teknologioita kokeiltiin tuotanto-olosuhteissa innovaatioverkoston yritysten kalan- kasvatustuotantolaitoksilla.

4.3. Tulokset ja niiden tarkastelu

Teknologiaselvitykset

Joka toinen vuosi Euroopassa järjestettävissä Offshore aquaculture-konferenssissa tutustuttiin avomerilaitosten kasvatustuotantolaitoksiin, jonka seurauksena päätettiin kokeilla upotettavaa kasvatustuotantolaitosta yhteistyönä yritysten kanssa. Tutustumisista raportoitii Kalankasvatustuotantolaitosten uutiskirjeissä ja esitelmissä. Norjan avomerilaitokset ovat pääosin liian massiivisia eivätkä sovellu Itämeren jääolosuhteisiin, Norjassa on myös kokeiltu upotettavia laitoksia, joiden ratkaisuihin, kuten lohikaloille suunnitellusta ilmanotokellosta, voisi olla hyötyä Suomessa, jos upotettavia ratkaisuita kehitetään edelleen. Puolisuljettuihin laitoksiin ei ole lähtökohtaisesti suunniteltu ravinteiden poistoa ja ne ovat verrattain kalliita investointeja, mutta niiden kehittäminen Suomen haasteisiin kuten poikastuotantoon, talvisäilytykseen ja ravinteiden talteenottoon voi olla edelleen huomionarvoista.

Upotettavan laitoksen kokeileminen

Kokeiltava teknologia valittiin monista vaihtoehdoista, jonka jälkeen sitä kehitettiin kalankasvatustuotantolaitosten ja välinevalmistajan kanssa Suomen olosuhteisiin soveltuvaksi. Lännepuolen Lohi sai upotettavalle kasvatustuotantolaitokselle YSL:n mukaisen koetoimintaluvan Kihdin aukolle ja laitosta kokeiltiin kahden kasvukauden aikana. Valitun Oceanis 2-laitoksen upotusta ja syvyyttä säädetään kasvatusaltaan alle sijoitettavan sukelluskellon avulla (Kuva 12). Myös ankkurointijärjestelmä suunniteltiin pinnan alle, etteivät jäät pääse tarttumaan järjestelmään.

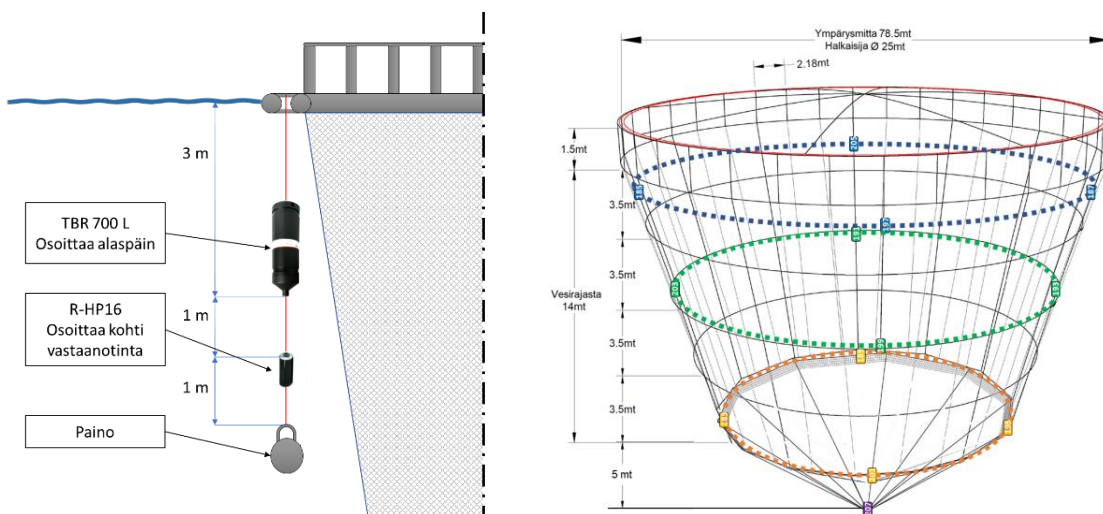
Laitoksen asennus ja käyttö oli normaalia verkkoalustalaitosta työläämpää ja laitosta jouduttiin huoltamaan monin paikoin jo lyhyen käytön aikana. Laitosta tulee kehittää

helppohoitoisemmaksi ja kestävämmäksi erityisesti, jos laitos viedään edelleen avoimemmille kasvatusalueille. Upotettavaa tekniikkaa ja esimerkiksi verkkohavasta vaihtamalla voi välttää käyttökokemuksissa ilmenneitä ongelmia.

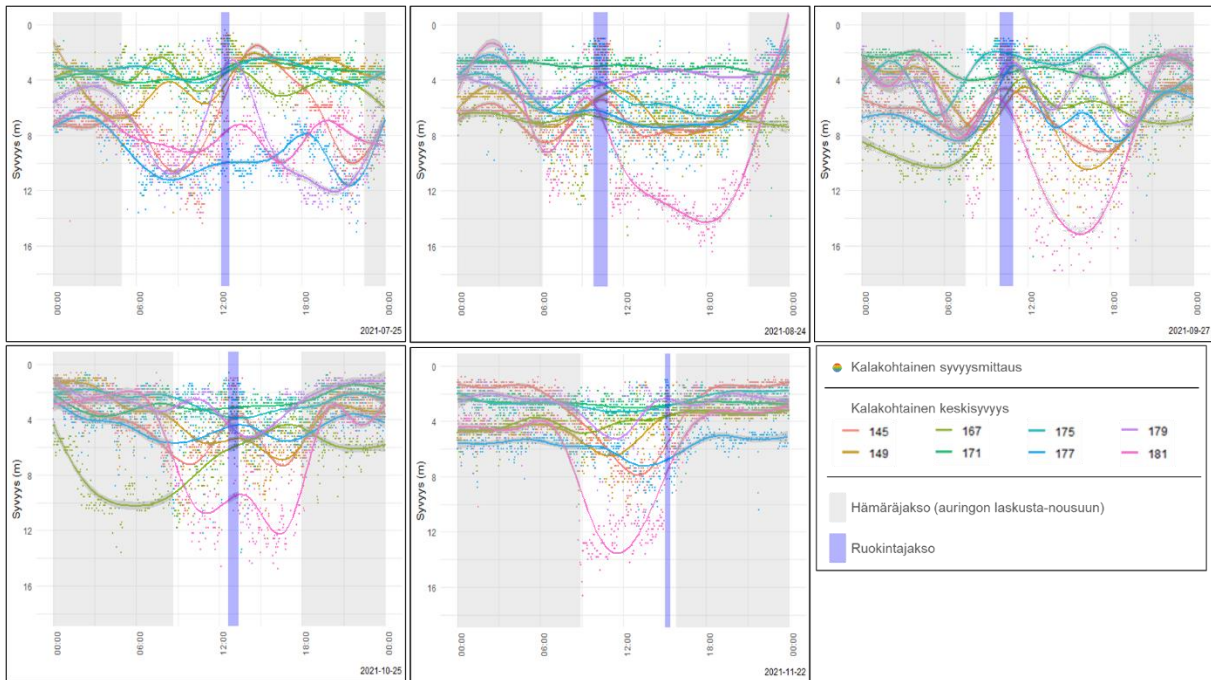


Kuva 12. Laitoksen upottaminen kesti noin 15 minuuttia ja nostaminen 45 minuuttia (Kuvat Mari Virtanen).

Kalojen käyttäytymistä ja laitoksen liikkeitä mitattiin telemetriajärjestelmällä ja niitä verrattiin mm. alueen virtauksiin ja lämpötilaan (Kuva 13). Telemetriajärjestelmän avulla havaittiin, että kirjolohien kuolleisuus lisääntyi talvikaudella tehdyn upotuksen aikana: siten kalojen talvisäilytys ei ole suositeltavaa ennen tarkempia lisäselvityksiä (Kuva 14). Syytä kuolleisuudelle voidaan etsiä mm. upottamissyvyyden, virtausnopeuden ja lämpötilan yhteisvaikutuksesta kirjolohen elintoiminnoille. Olosuhteiden vaikutus verkkokassin muotoon on toistaiseksi analysoimatta.



Kuva 13. Havainnekuva telemetriajärjestelmän vastaanottimesta sekä verkkoaltaaseen asennettujen sensoreiden sijainnista (Kuvat Kalle Sinisalo; vastaanottimen ja lähettimen kuva noudettu valmistajan sivuilta <https://www.thelmabiotel.com/>); verkkoallas Badinotti Group)



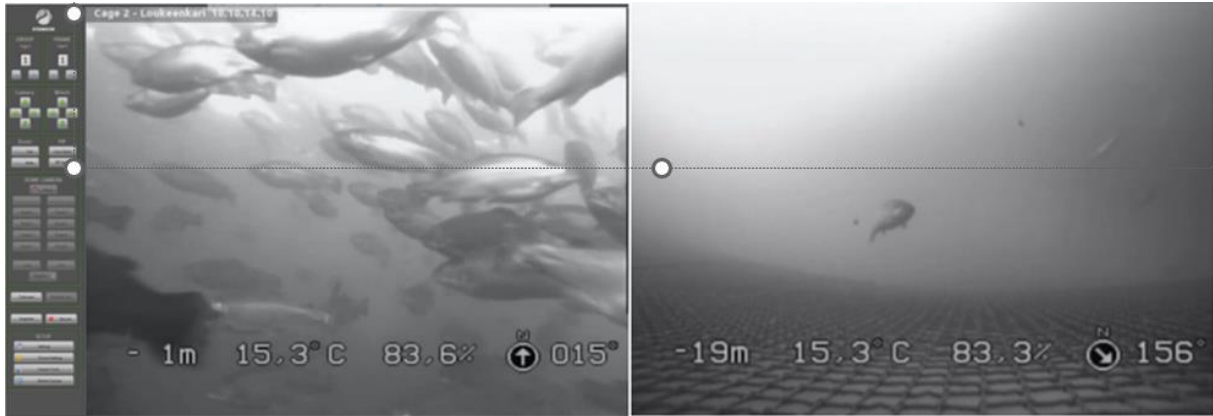
Kuva 14. Telemetriajärjestelmällä saatiin yksityiskohtaista tietoa kirjolohen käyttäytymisestä yhden merikasvatuskauden ajalta (Sinisalo ym. 2022).

Laitoksen kestävyttä arvioitiin dokumentoimalla rakenteiden muutoksia päivittäisten huoltokäyntien yhteydessä. Olosuhteiden, verkon kiinnityksen ja materiaalivalintojen vaikutusta kasvatukseen vaurioihin arvioitiin. Erityisen paljon vaurioita oli sektorissa, josta verkkokassi kiinnitetään pintaraamiin.

Videokameroiden kokeilut

Norjassa lohia ruokitaan yleisesti vedenalaiseen livekuvan perusteella ihmisen ohjaamana. Tällaista norjalaista kamerateknologiaa kokeiltiin myös Itämeren olosuhteissa (Kuva 15). Tarkoituksena oli ensisijaisesti selvittää, näkeekö kirjolohia ruokkia vedenalaisten kameroiden avulla tai voiko vaihtoehtoisesti pintakameroita hyödyntää kirjolohen etäruokinnan tarkkailussa.

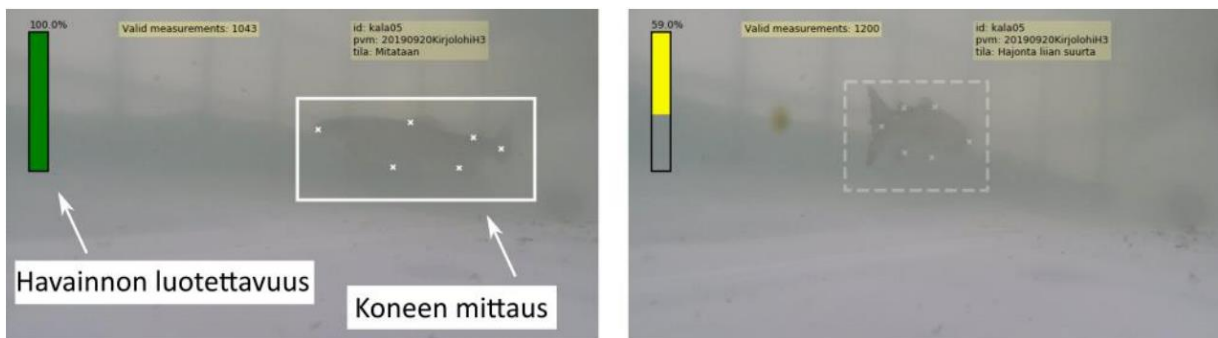
Suurimmalla osalla laitoksista rehut havaittiin vedenalaisten kameroiden avulla ja teknologiaa voidaan käyttää kalojen tai ruokinnan seuraamisessa. Sameissa oloissa vedenalaisten kameroiden käyttö osoittautui vaikeaksi ja toisinaan aktiivisesti pinnassa ruokaileva parvi pimentää näkyvyyden syvemmillä. Pintaa kuvaava videokamera toimi hyvin kirjolohen kasvatuksessa, mutta pintakamera ei sovellu yhtä hyvin siian ruokahalun tarkkailuun.



Kuva 15. Kuva Vedenalaista videokuvaa kirjolohenruokailusta Orbit 3500 kameralla.

Kuvan ja videon tunnistamiseen liittyvät koneälyn sovellukset yleistyvät myös kalankasvatuksessa. Kuvan perusteella on mahdollista tunnistaa kalojen poikkeavaa käyttäytymistä, tauteja, syömättä jäänyttä rehua tai arvioida kalan keskipainon kehitystä ruokinnan optimoimiseksi. Kyseiset asiat voidaan myös opettaa koneen tunnistettavaksi tai laskettavaksi kuvasta tai videosta. Vaikka maailmalla teknologia kehittyi, on huomattava, että jos koneälyn tuomaa kilpailukykyä halutaan edistää myös Suomen kasvatuksessa, tarvitaan pääosin sovellukset suomalaisille tuotantolajeille.

Hankkeessa tuotettiin kuvaopetusmateriaalia koneälylle kirjolohen, siian ja kuhan kasvatuksesta ja arvioitiin erilaisten kamerateknologioiden käyttöä (Kuva 16). Kirjolohen tunnistamiseen ja pituuden sekä painon arviointiin luotiin alustavia malleja verrattain lyhyessä ajassa ja toistaiseksi pienellä panostuksella. Ruokinnan aikana videotunnistuksessa huomattiin kuinka kirjolohen aktiivisuus eli uintinopeus lisääntyy ja siian hidastuu.



Kuva 16. Aluksi kone opetetaan tunnistamaan kala kuvasta, jonka jälkeen voi tehdä tarkempia tunnistuksia ja laskea esimerkiksi kalan keskipainoa.

Hyljekarkoitinta (Otaq SealFence) koekäytettiin Rymättylässä laitoksella, jossa oli havaittu hylkeen aiheuttamia käyntejä ja vahinkoja. Hyljevahinkoja ei havaittu karkottimen käyttöönoton jälkeen, vaikka niitä esiintyi viereisillä kasvattamoilla.

4.4. Uuden tiedon tarve

Pohjoiset Itämeren olosuhteet, avomerelle soveltuvat ratkaisut, verrattain pieni laitoskoko ja ravinnekuormituksen hallinnan tarve ovat keskeisimpiä merikasvatuksen teknologian haasteita myös jatkossa. Tutustumiskäynnit, kirjallisuus ja toteuttamisselvitykset ovat tärkeitä suurimpien riskien välttämiseksi. Lopulta kuitenkin teknologiaa voi kokeilla ainoastaan todellisessa tuotantoympäristössä ja tuotantomittakaavassa.

Tuotantomittakaavan investoinnit ovat niin suuria, että ne jäävät yritysten tehtäviksi. Ongelmana on, että koetoimintaluvat ovat lyhyitä eikä investointeja ehdi kuolettamaan luvan aikana, jolloin rohkeat yrityskokeilut saattavat jäädä tekemättä. Innovaatio-ohjelmassa saatiin kokemusta yhdestä upotettavasta kasvatustekniikasta ja kirjolohen käyttäytymisestä. Jos laitoksen upotettavuus todetaan tärkeäksi, tekniikan kehitystä tulisi jatkaa havaituilta ongelmilta välttymiseksi. Kalojen hyvinvoinnin turvaaminen upotuksen aikana vaatii tutkimusta ja kehitystoimia. Puolisuljettujen järjestelmien ja jääolosuhteisiin soveltuvien ratkaisuiden kehitystyötä tulisi arvioida ja mikäli kiinnostava ratkaisumalli löytyy, kokeilla tekniikkaa ravinteiden poiston näkökulmasta. Erityisesti poikastuotantoon ja kalojen talvisäilytykseen kyseiset laitokset voisivat olla toimiessaan uusi ratkaisumalli.

Konenäköön liittyvä tekniikka kehittyy vauhdilla, jolloin sitä voisi jatkossa käyttää hyödyksi pienemmiläkin kasvatuslaitoksilla. Ratkaisuiden kehittäminen kirjolohelle ja siialle Suomen oloissa vaatii edelleen jatkopanostusta kumppanuudessa teknologiayritysten kanssa.

4.5. Tuotokset

- Hakulinen, J. 2019. 3D-kameratekniikan ja koneoppimisen hyödyntäminen suomalaisessa kalankasvatuksessa. Esitelmä Laukaa 13.6.2019.
- Janhunen, M., Niukko, J., Vehviläinen, H., Kankainen, M., Hakulinen, J. & Pesonen, O. 2019. Esiselvitys 3D-kameratekniikan ja koneoppimisen hyödyntämisestä suomalaisessa kalankasvatuksessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 19/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 24 s.
- Kankainen, M. 2018. Kokemuksia avomeritekniikoista. Esitelmä Helsinki 21.3.2018.
- Kankainen, M. 2019. Upotettava verkkoallas merikasvatuksessa – tekninen esittely. Esitelmä Vantaa 8.11.2019.
- Kankainen, M., Tuppurainen, V. & Niukko, J. 2023. Kokemuksia kameraseurannan hyödyntämisestä kalankasvatuksessa Itämerellä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus xx/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. Käsikirjoitus.
- Kankainen, M., Janhunen, M. & Niukko, J. 2023. Upotettavan kalankasvatuslaitoksen haasteet Itämerellä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus xx/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. Käsikirjoitus.
- Kankainen, M. & Forsman, A. 2020. Upotettava kasvatuslaitos – investoinnit ja asennus. Esitelmä 25.8.2020.
- Kankainen, M. 2020. Upotettavan verkkoaltaan asennus ja käyttöönotto. Esitelmä 6.11.2020. www.youtube.com/watch?v=kQ9SFYANh9s
- Lindberg-Lumme, P. 2019. Lupajärjestelmä ja kalankasvatustekniikat Norjassa. Esitelmä Laukaa 13.6.2019.
- Raatevaara, A., Kulju, S., Vehviläinen, H., Kankainen, M., Jounela, P., Vielma, J., Pesonen, O. & Hakulinen, J. 2020. Kirjolohen hahmontunnistus ja painon ennustaminen konenäöllä. Esitelmä 25.8.2020.

- Sinisalo, K. 2021. Kokemukset ja tutkimukset upotettavalla verkkoaltaalla kaudella 2021. Esitelmä 1.9.2021.
- Sinisalo, K. 2021. Kokemukset ja tutkimukset upotettavalla verkkoaltaalla kaudella 2021. Esitelmä 30.9.2021.
- Sinisalo, K. 2021. Conditions at the Baltic Sea for Rainbow Trout and for Finnish Aquaculture. Esitelmä 27.10.2021.
- Sinisalo, K. 2022. Telemetrian käyttö kalojen havainnointiin (upotettavalla) kalankasvatuslaitoksella. Esitelmä 25.8.2022.
- Sinisalo, K., Vehviläinen, H., Kankainen, M. & Forsman, A. 2022. Kirjolohen käyttäytymisen havainnointi akustisella telemetriajärjestelmällä: Käyttökokeet kalankasvatuslaitoksella Saaristomerellä 2021. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 106/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 59 s.
- Sinisalo, K. 2023. Upotettava verkkoallas ja kalojen hyvinvointi - Akustisen telemetrian hyödyntäminen kalankasvatuslaitoksella. Esitelmä 10.3.2023.
- Sinisalo, K. 2022. Telemetrian käyttö kalojen havainnointiin (upotettavalla) kalankasvatuslaitoksella. Esitelmä 25.8.2022.

5. Tuotannon arvon kasvattaminen

Harri Vehviläinen, Markus Kankainen, Kalle Sinisalo ja Jani Pulkkinen (Luke)

5.1. Tausta ja tavoitteet

Suomen vesiviljelyn tuotannon arvosta merkittävä osa perustuu syksyllä ja alkutalvella perätkävään kirjoloheen. Erityisesti syksyisin kalan tuottajahinta on muuta vuotta heikompi. Toimialan liikevaihtoa voidaan kasvattaa ja alttiutta markkinahäiriöille pienentää kehittämällä täydentävää tuotantoa, joka voidaan myydä keväällä ja kesällä. Lisäksi tuotannon arvoa voidaan kasvattaa kasvattamalla arvokkaampia lajeja.

5.2. Toimet

Keskeisimpiin haasteisiin etsittiin ratkaisuja erityisesti kasvatuskokeilla, joita olivat koko tuotantokierron kestävä koe triploideilla kirjolohilla sekä RAS-kuhan ja siian jatkokasvatus verkkoaltaissa. Kokeet toteutettiin yhteistyössä yritysten (Heimon Kala Oy, Korppoo ja Haverön Lohi Oy, Rymättylä) sekä Livian koulutusyhtymä (Parainen) kanssa (Kuva 17). Triploidiakoe alkoi vuonna 2019 kolmessa kasvatuspaikassa ja se päättyi kalojen perkausmittauksiin vuoden 2020 lopussa. Kuhan verkkoallaskasvatusta (rokottaminen ja siirron ajankohta kiertovesikasvatuksesta merikasvatukseen) kokeiltiin vuosina 2017 ja 2018. Siian kasvatusta tutkittiin ruokinnan optimoinnin ja merivesiadaptaation (syömään oppimattomien poikasten vähentämisen) näkökulmista. Lisäksi aloitettiin kirjolohen RAS-poikasen merikasvatuksen kokeiluja. Näiden töiden lisäksi tuotettiin nelman ja siian risteymiä sekä kokeiltiin nelman triploidiaa. Töiden tarkoituksena on ollut avata mahdollisuutta kasvattaa nelmaa myös muualla kuin kiertovesilaitoksissa, tosin Luke on sittemmin päättänyt luopua nelman ylläpidosta ja tutkimuksesta. Kuhan mädin lypsyyn tutustuttiin viikon intensiivikurssilla Belgiassa syyskuussa 2017. Lisäksi tehtiin vierailu HAKI:n RAS-kuhalaitokselle, jossa tutustuttiin kuhan eri tuotantokierron vaiheisiin.



Kuva 17. Merialueen koetoimintaa tehtiin yhteistyössä yritysten ja ammattipisto Livian kanssa.

5.3. Tulokset ja niiden tarkastelu

Kuha

Ensimmäisessä kokeessa siirrettiin RAS-laitoksessa kasvatettuja kuhia verkkoaltaisiin kesäkuun alussa. Kuhien ruokahalu oli varsin pientä, ja niiden kasvussa havaittiin suurta vaihtelua (vain osa yksilöistä söi tarjottua ruokaa), mutta eri ruokinta-ajoilla ei havaittu olevan vaikutusta kasvuun. Kokeen puolivälissä kuhien kuolleisuus kasvoi dramaattisesti, näytekalosta löydettiin vibriosia ja furunkuloosia. Antibioottirehun antaminen aloitettiin, mutta se tehoi vain kaloihin (noin 20 %), jotka söivät rehua ja loput menetettiin.

Seuraavana kasvukautena testattiin injektiorokotuksen vaikutusta hieman alle 400 g RAS-kuhiin. Valitettavasti tässä kokeessa koko kuhaparvi kieltäytyi syömästä, joten käsittelyjen vaikutuksia ei kyetty erottamaan. Toisaalta myöskään rokottamattomien ryhmä ei sairastunut tauteihin, vaan selvisi hyvin.

Edellisen kauden kuhilla (syksyllä 180 g) testattiin sekä talvehtimista verkkokassissa että rokotuksen vaikutusta seuraavan kesän kasvuominaisuuksiin. Sekä talvehtiminen (eloonjääminen 98–100 %, painon menetys 8–10 %) että seuraavan kesän kasvu havaittiin kohtuulliseksi kuhien kasvaessa keskimäärin 168 grammasta 414 grammaan; keskimäärin kasvunopeus oli 0,7 % päivässä ja rehukerroin 1.4. Rokotuksella ei tässäkään kokeessa havaittu vaikutusta, eloonjäätne rokottamattomilla oli 83–94 %, rokotetuilla 88–93 %.

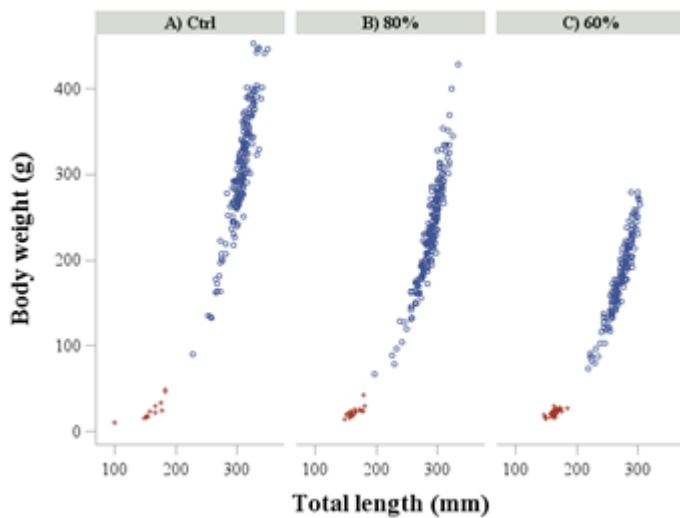
Kokonaisuutena kuhakokeiden tulokset yhtäältä antavat luottamuksen siihen, että kuhan ruokakalantuotanto verkkokasseissa voi olla mahdollista, toisaalta alleviivaavat sitä, että mikäli tähän halutaan edetä, tulee kuhan kasvatuksen teknologias- biologisten tekijöiden ja protokollien optimointiin satsata tuntuvasti. Optimointi on luonteeltaan kehittämistä ja teknologian siirtoa Euroopasta/yrityksistä.

Siika

Ensimmäisessä kokeessa testattiin vaikuttaako poikasten tausta (merivedessä startatut nollikkaat vs. sisämaassa ensimmäisen vuoden kasvaneet) ja/tai ruokinnantasot (optimaalinen/taulukkotaso, 80 % ja 60 %) syömään oppimattomien siikojen määrään. Syömään oppimattomien määrä oli selkeästi vähäisempi merivedessä startattujen poikasten (1–4 %) kuin sisämaassa ensimmäisen vuoden viettäneiden poikasten (7 %–29 %) joukossa. Samoin ruokintatasoilla oli lähes merkittävä vaikutus syömään oppimattomien määrään 1-v. sisämaapoikasten joukossa (Kuva 18). Lopullisten johtopäätösten teko tästä kokeesta osoittautui kuitenkin haasteelliseksi, koska kokeeseen ja erityisesti 0-v. siikoihin kohdistui hyljevahinkoja (0-v. siikojen eloonjääminen 14–62 %, 1-v. 65–75 %). Tämän jälkeen laitokselle hankittiin hyljekarkoitin ja hylkeiden käynnit loppuivat.

Toisen merikesän kokeessa 258 g siian ruokintakäytöstä tutkittaessa laitteistolla, joka sallii kalan päättää miten haluaa ruokailla, havaittiin, että vaikka siika kasvaakin mainiosti saadessaan taulukkoa useammin ja enemmän rehua (ruokahalunmukainen keskipaino kokeen lopussa 956 g, taulukkoruokinta 665 g). Mikäli siika itse saa päättää syömisistään, heikentyy kuitenkin rehuteho (taulukkoruokinta 1,73 ja ruokahalunmukainen 1,92) ja rasvan määrä kasvaa (perkuuprosentti taulukkoruokinnalla 93 % ja ruokahalunmukaisella 90 %). Toisaalta verrokkina

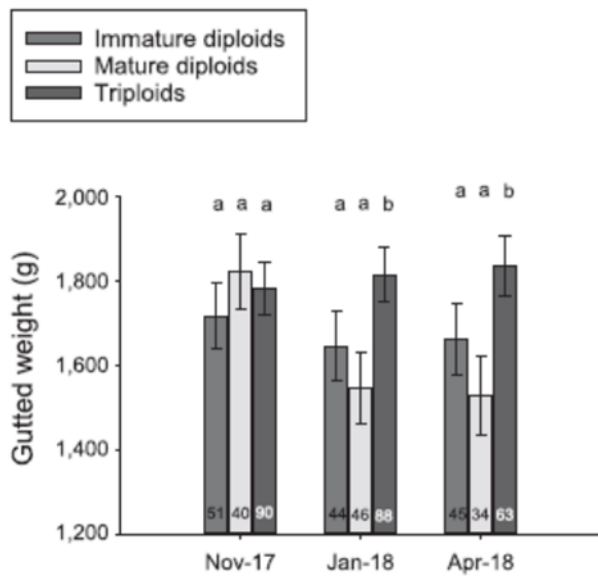
toiminut rehunvalmistajan taulukkoon perustuva ruokailu ei tuottanut optimaalista tulosta sekään



Kuva 18. 1-v. sisämaasta siirtyneiden siikojen painot (Body weight) ja pituudet (Total length) kokeen lopussa eri ruokintatasoilla. (A) Ctrl = rehunvalmistajan taulukko, B) 80 % ja C) 60 % taulukon arvosta). Sininen pallo = kasvaneet kalat, punainen risti = syömään oppimattomat kalat.

Kirjolohi

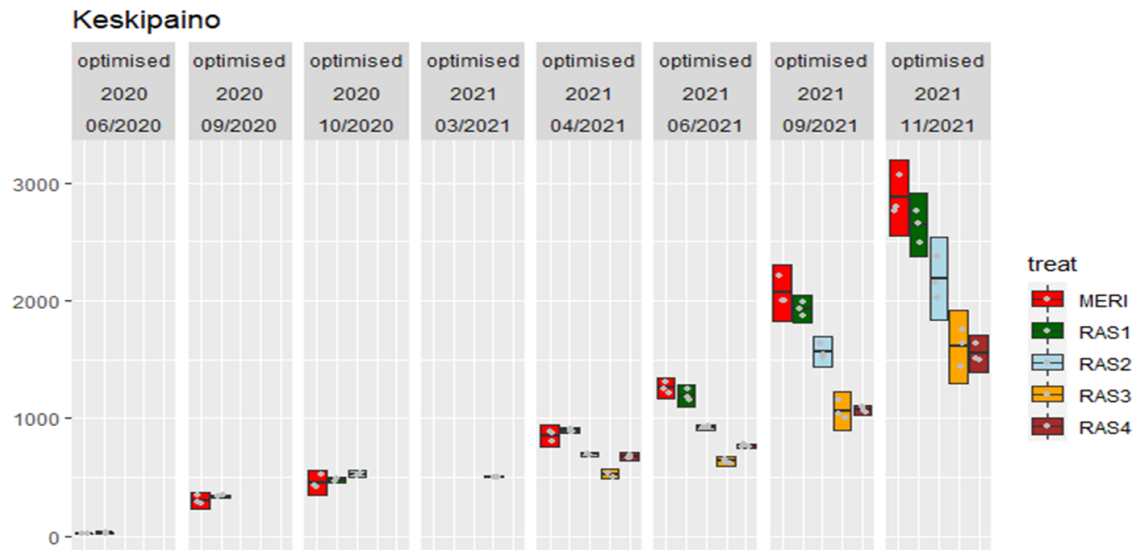
Ensimmäisessä kokeessa vertailtiin yhden jatkokasvatuskauden ja kevääseen jatkuvien perkuumittauksen avulla diploidien ja triploidien tuotanto-ominaisuuksia (Kuva 19). Jatkokasvatuksessa triploidien kasvukerroin (4.25) ja FCR (1.18), olivat heikompia kuin diploidien (4.48 ja 1.05). Ensimmäisissä perkuumittauksissa ei kuitenkaan havaittu eroja keskiarvoissa missään tuotanto-ominaisuudessa, kun selkärankavikojen vaikutus poistettiin. Keväälle jatkuvissa perkuumittauksissa havaittiin, että triploidit vaikuttavat pitävän tuotanto-ominaisuutensa (esim. perkaussaanto) paremmalla tasolla kuin diploidit, ja siten soveltuvan hyvin kevääseen tähtävään tuotannon arvon kasvatukseen. Triploideilla kuitenkin havaittiin enemmän (12,0 %) selkärankavikoja kuin diploideilla (5,3 %). Selkärankaviat olivat pääasiassa lieviä, mutta ovat syytä ottaa tarkkailuun jatkossa.



Kuva 19. Diploidien ja triploidien kirjolohien peratut painot eri perkuuajankohtina (Nov-17 = kasvukauden lopussa marraskuussa, Jan-18 = seuraavan vuoden tammikuussa, Apr-18 = seuraavan vuoden huhtikuussa). Vaalealla sukukypsyneet diploidit, vaalean harmaalla sukukypsytymättömät diploidit ja tummalla triploidit kirjolohet (uudelleen piirretty Janhunen ym. 2019).

Toisessa kokeessa tutkittiin kahden kasvatuskauden, kahden eri paikan ja kahden erilaisen ruokintatavan vaikutuksia diploidien ja triploidien tuotanto-ominaisuuksiin. Triploidien kirjolohien kasvatuskokeissa ei havaittu systemaattisia tuotannollisia haasteita diploideihin kirjolohiin verrattuna. Triploidit kasvoivat sekä optimaalisella että ruokahaluun perustuvalla ruokinnalla paremmin etenkin toisena merikesänä (loppukeskipainojen ja rehutehojen vaihtelu eri paikoissa ja ruokintatavoissa 2n: 2 600–3 400 g, fcr: 1.2–1.5 vs. 3n: 3 200–3 800 g, fcr: 1.2–1.7). Ainoastaan lieviä muotovirheitä esiintyi triploideilla kirjolohilla (10–15 %) enemmän verrattuna diploideihin (0–5 %). Tulosten perusteella triploidit kirjolohet soveltuvat varsin hyvin etenkin kevään perkuisiin tähtäävään tuotannon arvon nostamiseen.

Triploidian lisäksi kirjolohella kokeiltiin kiertovesikasvatetun poikasen menestymistä meressä. Ensimmäisessä kokeilussa siirrettiin eri ajankohtina RAS:ssa kasvatettuja noin 500 g kirjolohia merelle. Kontrollina toimivat edellisenä vuonna <30 g merelle siirretyt poikaset. Kokeessa havaittiin selkeä yhteys siirtoajankohdan ja toisen merikesän kasvun välillä: mitä lähempänä toisen kasvukauden alkua kalat siirrettiin merelle, sitä heikommin ne kasvoivat (Kuva 20).



Kuva 20. Kiertovedestä mereen siirrettyjen kalojen keskipaino. RAS1 siirrettiin 30 g merelle ensimmäisen kasvukauden alussa, RAS2 noin 500 g syksyllä ennen talven tuloa, RAS3 noin 500 g talvella maaliskuussa ja RAS4 noin 500 g heti toisen kasvukauden alussa. Kontrollina toiminut MERI oli normaalia kaupallista lämpöpoikasta, joka oli 19 g merelle siirrettäessä ensimmäisen kasvukauden alussa.

5.4. Uuden tiedon tarve

Triploideja kirjolohia käytetään jo kaupallisessa tuotannossa eivätkä kokeet ole tuoneet esille sellaisia uusia riskejä tai etuja, joita ei olisi ollut tiedossa. Kokeiden perusteella triploidit sopivatkin hyvin tuotannon arvon kasvattamiseen etenkin keväälle ulottuvien perkuuden mahdollistajina. Eläinterveyden kannalta triploidien alttiutta selkärankavioille on syytä kuitenkin tarkkailla. Triploidien ruokailukäyttäytyminen näyttäytyi huomattavasti diploideja aggressiivisempänä, samoin adaptiivisen ruokinnan tulokset viittaavat siihen, että ruokinnan optimointi triploideille voi tuottaa lisäarvoa. Kiertovedessä kasvatetun kirjolohen kasvun hiipumisen syyt merisiirron yhteydessä olisi ratkaistava, mikäli eri tuotantomuotojen yhdistäminen halutaan toteuttaa.

Kuhan lisääntyneet luonnonsaaliit ovat laskeneet hintoja ja vähentäneet kiinnostusta kierto-vesikasvatuksessa. Lisäksi lohikaloiden hyvä hintataso ei kannusta panostamaan uuden lajin kasvatukseen kaupallisiin kokeiluihin. Kuhan kasvatusta olisi teknisesti mahdollista toteuttaa myös verkkoallaskasvatuksessa, mutta sielläkään ei toistaiseksi ole ollut yrityspuolen kiinnostusta. Innovaatio-ohjelmassa ja sitä sivuavissa hankkeissa on todettu rehua syövän kuhan tuottamisen olevan teknisesti toteutettavissa. Tarvittavaa tietoa voisi siirtää Euroopasta, jossa kuhankasvatuksen tutkimus jatkuu.

Siian syömään oppimattomuutta ja oikeaa ruokintatasoa voidaan kehittää. Pääsääntöisesti siian jatkokasvatuksen teknologian nykytaso on jo kohtuullisella tasolla eikä tuotantoon liity kriittisiä pullonkauloja. Emokalastojen hallinnassa geneettinen huolto (sukulaisuuden ja sukulaistumisen hallinta) ovat tärkeitä tutkimus- ja kehityskohteita. Lisäksi vesihomeen torjuntakeinojen tutkimus ja kehittämistoimet ovat oleellisia, jotta kyetään turvaamaan riittävä poikasten tuotto emokalastoista.

5.5. Tuotokset

- Vehviläinen, H. Kokemuksia kuhankasvatuksesta merellä. Esitelmä 10.11.2017.
- Marttinen, P. Kuhan mädin lypsy ja laatu. Esitelmä 10.11.2017.
- Vehviläinen, H. Innovaatio-ohjelman merikokeet 2018. Esitelmä 21.3.2018.
- Koskela, J. Kirjolohen ja siian hyvän kasvun ylläpito kiertovedessä ja merisiirron jälkeen. Esitelmä 21.3.2018
- Janhunen, M. Triploidialla laatukalaa kevääksi. Esitelmä 8.11.2018.
- Vehviläinen, H. Kuhankasvatuskuulumisia Ranskasta ja rannikolta Esitelmä 8.11.2018.
- Vehviläinen, H. & Koskinen, H. HAKI:n kuhalaitoksella vierailu. Matkaraportti 10.4.2019
- Vehviläinen, H. Triploidit vs diploidit: ensimmäinen merikasvukausi. Esitelmä 8.11.2019.
- Vehviläinen, H. Potential of pikeperch ongrowing in the Baltic Sea. World Aquaculture Society, Montpellier France Esitelmä 28.8.2018
- Koskela, J., Vielma, J., Vehviläinen, H., Riihimäki, J., Pellinen, M., Bomberg, J. & Kytömaa, L. Kirjolohen yhdistetty kiertovesi- ja merikasvatus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 28/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 18 s.
- Janhunen, M., Vehviläinen, H., Koskela, J., Forsman, A. & Kankainen, M. Added value from an added chromosome: Potential of producing large fillet fish from autumn to spring with triploid rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. 2019. Aquaculture Research 50: 818–825.
- 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.
- Vehviläinen, H. Triploidit (3n) vs Diploidit (2n) Kesät 2019 & 2020. Esitelmä 2.9.2021.
- Vehviläinen, H. RAS-kala merellä. Esitelmä 2.9.2021.
- Froelich, H.E., Couture, J., Falconer, L., Krause, G., Morris, J.A., Perez, M., Stentiford, G.D., Vehviläinen, H. & Halpern, B.S. Mind the gap between ICES nations' future seafood consumption and aquaculture production. 2021. ICES Journal of Marine Science 78(1): 468–477.
- Couture, J., Froelich, H.E., Buck, B.H., Jeffery, K.R., Krause, G., Morris, J.A., Perez, M., Stentiford, G.D., Vehviläinen, H. & Halpern, B.S. 2021. Scenario analysis can guide aquaculture planning to meet sustainable future production goals. ICES Journal of Marine Science, Volume 78 (3): 821–831.
- Vehviläinen, H. Triplat ja RAS-kalat meressä. Esitelmä 24.8.2022.

6. RAS-kasvatuksen vedenkäsittelytekniikka

Jani Pulkkinen, Tapio Kiuru, Petra Lindholm-Lehto, Jouni Vielma (Luke) ja Marja Tirola (Jyväskylän yliopisto)

6.1. Tausta ja tavoitteet

Kiertovesikasvatuksen (RAS-kasvatuksen) onnistumisen kannalta veden laadulla on aivan keskeinen merkitys. Vedenkäsittelyn järjestelmät ja eri yhdistelmät voivat olla mitä moninaisempia, ja valitut tekniikat vaikuttavat merkittävästi investointi- ja käyttökustannuksiin sekä kalojen kasvuun, hyvinvointiin ja laatuun. Innovaatio-ohjelman alkaessa Suomessa oli jo muutama RAS-kasvatuksen kärkiyritys, joiden avainhenkilöt olivat keränneet tietoa vedenkäsittelyn tekniikoista sekä käytännössä että alan tapahtumia ja kirjallisuutta seuraten. RAS-kasvatuksen T&K-toiminta oli aluillaan eikä alan opetukseen tarvittavaa osaamista vielä ollut. Yritykset nostivat innovaatio-ohjelmaa edeltävissä keskusteluissa vedenlaadun hallinnan ja kalojen hyvän kasvun keskeiseksi selvitettäväksi asiaksi. Innovaatio-ohjelmalla pyrittiin paitsi löytämään teknisiä ratkaisuja ja hyviä toimintatapoja, niin myös luomaan laajempaa osaamis pohjaa yrityksen ja tutkimuksen tarpeisiin.

6.2. Toimet

Suurin osa toimista tehtiin Laukaan kalanviljelylaitoksella kiertovesikasvatuksen kokeilu- ja kehittämisympäristön 10 itsenäisessä RAS-yksikössä. Yrityksissä kerättiin tietoa vedenlaadusta liikuteltavaa mittalaitteistoa käyttäen, mutta tuotantomittakaavan vedenkäsittelyn muuttaminen koejärjestelyillä koettiin liian riskialttiiksi. Koe- ja pilottimittakaavassa selvitettiin:

- biosuodatuksen nitrifikaation käynnistäminen (Luke, Jyväskylän yliopisto)
- kiinteä- ja liikkuvapetisen biosuodatuksen eroja (Luke, Ruokavirasto, Jyväskylän yliopisto)
- intensiteetin vaikutus (Luke, Ruokavirasto, Jyväskylän yliopisto)
- uudet kantoaineet biosuodatuksessa (Luke, Oulun yliopisto)

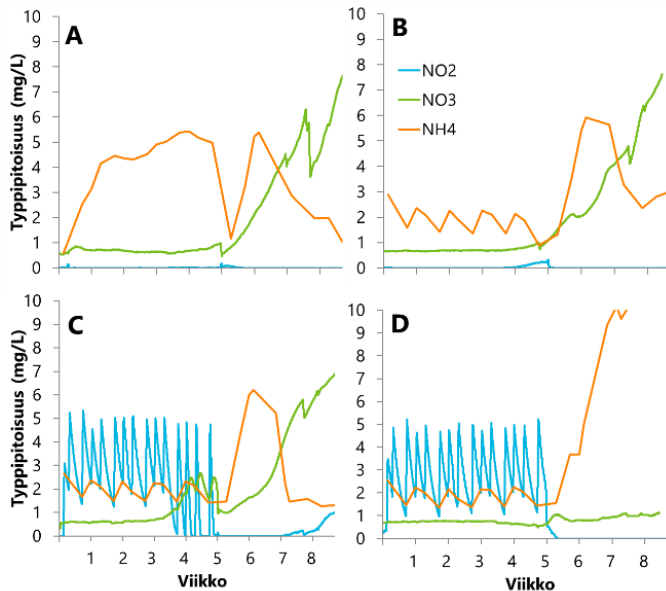
Edellä mainittujen kokeiden yhdistävänä teemana oli lisäksi vedenlaadun ja mikrobiologian keskeinen vuorovaikutus. Lisäksi havaintoja kertyi mm. erilaisten vedenlaadun mittausantureiden toimivuudesta kaupallisilla laitoksilla, veden osittaiskierrätyksestä, veden pH:n säätelyn tavoista, kalojen siirrosta kiertovedestä kylmään läpivirtausveteen ja veden alkaliniteetin vaikutuksesta metallien myrkyllisyydelle. Makuvirheiden vähentämiseen liittyviä vedenkäsittelyasioita käsitellään kappaleessa 8.

6.3. Tulokset ja niiden tarkastelu

Biosuodatuksen nitrifikaation käynnistäminen

Biosuodatuksen nitrifikaation käynnistäminen tulee tarpeelliseksi aina uutta laitosta käynnistettäessä, mutta myös laitoksen saneerauksen tai uudelleen käynnistämisen yhteydessä. Biosuodatus on kaksivaiheinen, jossa ammoniumtyypen hapetus nitriitiksi, ja nitriitin hapetus nitraatiksi voi tapahtua eri bakteerien toimesta. Nitrifikaatio voidaan käynnistää joko lisäämällä

veteen kemikaaleja (ammoniumkloridi NH_4Cl , natriumnitriitti NaNO_2) tai käyttämällä kaloja. Molempien kemikaalien käytöllä nopeutetaan biosuodatuksen käynnistystä 25 % verrattuna pelkästään ammoniumkloridin käyttöön tai kaloihin (8 vuorokautta nopeampi käynnistymisen, Kuva 21). Mikäli kaloja käytetään käynnistyksessä, tulee huolehtia riittävästä vedenvaihdosta, jotta ammoniakki ei nouse kaloille haitalliselle tasolle.



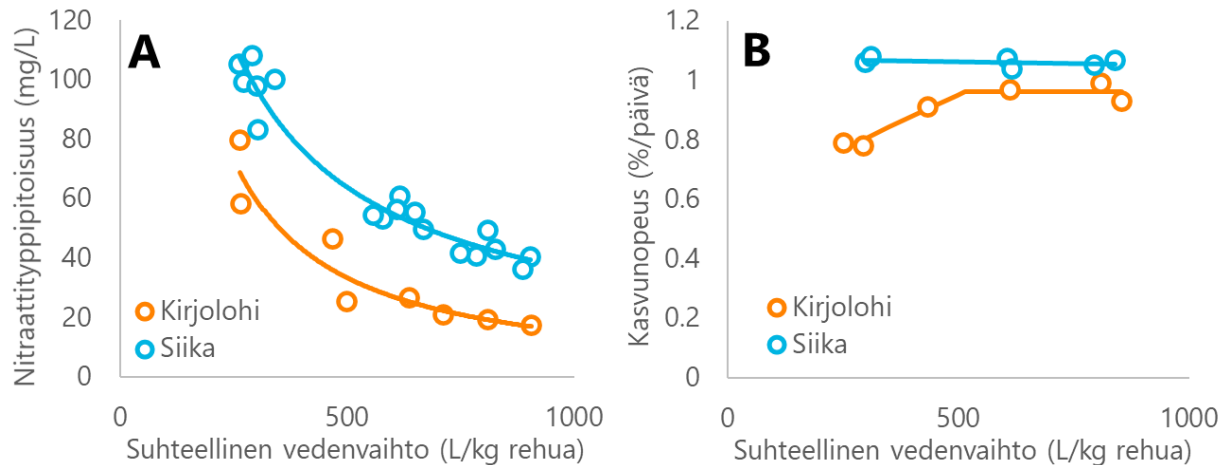
Kuva 21. Ammonium-, nitriitti- ja nitraattityppipitoisuudet biosuodatuksen käynnistämässä A) kaloilla, B) ammoniumkloridilla, C) ammoniumkloridilla ja natriumnitriitillä, D) ammoniumkloridilla, natriumnitriitillä ja glukoosilla (n=2, uudelleen piirretty Pulkkinen ym. 2018).

Kiinteä- ja liikkuvapetisen biosuodatuksen eroja

Kaupallisilla kiertovesilaitoksilla yleistymässä olevat bioreaktorityypit ovat liikkuvapetinen ja kiinteäpetinen bioreaktori. Liikkuvapetisen bioreaktorin etuna on itsepuhdistuvuus ja toimintavarmuus, sekä kyky ilmastaa vettä. Reaktorista vapautuu kuitenkin kiintoainetta veteen ja kantoaineen liikuttaminen kuluttaa energiaa. Kiinteäpetisessä reaktorissa etuna on kiintoaineen sieppaus ja matala energiankulutus, mutta reaktorin mitoitus ja hydraulikka pitää suunnitella hyvin toimivuuden varmistamiseksi. Laukaan kokeilu ympäristön kiinteäpetisten bioreaktoreiden nitrifikaatiotehon havaittiin olevan 40 % pienempi verrattuna liikkuvapetisiin reaktoreihin. Suurin tekijä huonommassa tehossa on liian pieni virtausnopeus bioreaktoreiden sisällä, jolloin hapen ja ammoniumin kulkeutuminen biofilmin bakteereille on tehotonta.

Vedenkäytön intensiteetin vaikutus

Kiertovesikasvatuksen vedenlaatuun vaikuttavia tekijöitä ovat ennen kaikkea laitokseen otettavan korvausveden määrä, käytetty vedenkäsittelyjärjestelmä sekä syötetty rehu. Korvausvedellä pyritään korvaamaan vedenkäsittelystä johtuvaa vedenvajetta, mutta myös pitämään liukoiset aineet kaloille sopivalla tasolla. Laukaassa tehdyissä kokeissa havaittiin, että kirjolohen kasvu alkoi heiketä ja rehukerros nousta, kun uutta vettä otettiin alle 500 L syötettyä rehukiloa kohden. Vastaavaa ei havaittu siialla, vaan kasvunopeus pysyi tasaisena kokeen eri vaiheissa korvausveden tasosta riippumatta (Kuva 22). Kirjoloheet olivat suurempia (keskipaino kokeen lopussa 1300 g) ja niitä oli käytetty aiemmassa kiertovesikokeessa, kun taas siiat olivat pienempiä (keskipaino kokeen lopussa 440 g) ja tulivat läpivirtausoloista kiertoveteen.



Kuva 22. Korvausveden määrä vaikutus nitraattipitoisuuteen (a) ja kalan kasvuun (b) kirjolohella ja siikalla. (Uudelleen piirretty Pulkkinen ym. 2018; julkaisematon data).

Uudet kantoaineet biosuodatuksessa

Bioreaktoreissa käytetään yleisimmin muovisia kantoainepaloja, jotka voivat murettessaan vapauttaa mikromuoveja veteen. Näiden lisäksi muoviset kantoaineet ovat huomattavasti kalliimpia verrattuna luonnollisimpiin materiaaleihin kuten biohiileen ja mineraaliperäisiin materiaaleihin. Laukaan kokeiluympäristössä vertailtiin biohiilen ja alkaliaktivoitun materiaalin sopivuutta biosuodatuksen nitrifikaatioon. Molemmissa materiaaleissa on huomattavan paljon pinta-alaa tilavuuden nähden niiden huokoisen rakenteen takia. Alkaliaktivoitu materiaali pysyi nitrifikaation ohella sitomaan fosforia kiertovedestä, eikä nitrifikaatiossa havaittu eroja verrattuna kaupallisesti saatavilla oleviin muovisiin kantoaineisiin.

6.4. Tulevaisuuden näkymät

Hyvän vedenlaadun ylläpito on edelleen yksi avaintekijöistä onnistuneessa kiertovesikasvatuksessa. Perinteisen tekniikan (rumpusuodatus, ilmastus, biologinen suodatus) lisäksi kiertovesikasvatuksen keinovalikoimaan on tullut hapettavien yhdisteiden käyttö sekä mikrokupla-vaahdottimet, jotka ovat osoittautuneet toimiviksi myös makeassa vedessä. Näiden menetelmien tuoma hyöty voi riippua käytetystä kalalajista ja muusta vedenkäsittelytekniikasta. Markkinoille on tullut myös paljon uusia vedenkäsittelytekniikoita ja -menetelmiä, joiden soveltuvuutta ja hyötyä kiertovesikasvatuksen vedenkäsittelyyn kannattaa jatkossa selvittää.

6.5. Tuotokset

- Almeida, G.M.F., Mäkelä, K., Laanto, E., Pulkkinen, J., Vielma, J. & Sundberg, L.-R. 2019. The Fate of Bacteriophages in Recirculating Aquaculture Systems (RAS)—Towards Developing Phage Therapy for RAS. *Antibiotics* 8(4):192
- Haataja, M. 2021. Application of UROS Sense sensor to monitor water quality of recirculating aquaculture. Master's thesis. University of Oulu, Environmental Engineering. 91 p.
- Kiuru, T. Katsaus uusiin kiertovesilaitosprojekteihin maailmalla. Esitelmä 10.11.2017.
- Pulkkinen, J. Biosuodatus kiinteillä ja liikkeessä olevilla kantoaineilla. Esitelmä 10.11.2017.

- Pulkkinen, J. Water quality, histopathology and nitrification bacteria using combinations of fixed bed and moving bed bioreactors in RAS, Jani Pulkkinen. Esitelmä 4th NordicRAS Workshop on Recirculating aquaculture systems, Aalborg, 13.10.2017.
- Pulkkinen, J.T., Kiuru, T., Aalto, S.L., Koskela, J. & Vielma, J. 2018. Startup and effects of relative water renewal rate on water quality and growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in a unique RAS research platform. *Aquacultural Engineering* 82: 38–45
- Pulkkinen, J. Vedenlaadun hallinta kalojen kiertovesikasvatuksessa. Esitelmä 4.4.2019.
- Pulkkinen, J. Korvausveden määrä siian kiertovesikasvatuksessa. Esitelmä 12.6.2019.
- Pulkkinen, J. Ajankohtaista kiertovesikasvatuksesta. Esitelmä 6.11.2019.
- Pulkkinen, J. Typpiyhdisteiden hallinta kiertovesikasvatuksessa. Esitelmä 8.11.2019.
- Pulkkinen, J.T., Eriksson-Kallio, A.M., Aalto, S.L., Tiirola, M., Koskela, J., Kiuru, T. & Vielma, J. 2019. The effects of different combinations of fixed and moving bed bioreactors on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth and health, water quality and nitrification in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 85: 98–105
- Pulkkinen, J. 2020. Microbiology of biological filters in recirculating aquaculture systems. *JYU Dissertations* 242:50 p.
- Pulkkinen, J. Innovaatiot kiertovesikasvatuksen kannattavuuden parantamiseksi. Esitelmä 18.3.2021
- Pulkkinen, J. Kalankasvatus sisävesillä, kestävän kehityksen mukaista kasvua. Esitelmä 4.11.2021.
- Suurnäkki, S., Pulkkinen, J.T., Lindholm-Lehto, P.C., Tiirola, M. & Aalto, S.L. 2020. The effect of peracetic acid on microbial community, water quality, nitrification and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) performance in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture* 516: 734534

7. RAS-kasvatuksen poistovesien käsittely

Jani Pulkkinen, Tapio Kiuru, Petra Lindholm-Lehto, Jouni Vielma (Luke); Anna Mikola (Aalto-yliopisto) ja Elisangela Heiderscheidt (Oulun yliopisto)

7.1. Tausta ja tavoitteet

Kiertovesilaitoksissa muodostuu tyypillisesti kaksi erillistä poistovesijaetta: kiintoainepitoinen lietevesi, sekä kirkkaampi poistovesijae. Kiintoainepitoisessa lietevedessä on suurin osa fosforista, kun typpi on suurimmaksi osaksi liuenneena nitraattina eri vesijakeissa. Poistovesien käsittely on oleellinen osa kiertovesilaitosten toimintaa, sillä kasvatusta on ympäristöluvan alaista toimintaa ja ravinnepäästöjen vähentäminen edellytys kalankasvatusta mahdollistamiseksi. Lietepitoinen vesi käsitellään yleensä kemikaaleilla (alumiini ja rautapohjaiset yhdisteet) ja tiivistetty liete jatko käsitellään kompostoimalla. Kemikaaleilla tiivistetyn lietteen fosfori on sidottu tiukasti ja sen käytön mahdollistaminen kierrätysravinteena vaatisi uudenlaisen teknikan tai kemikaalien käyttöä. Liukoisen typen poistamiseen on toistaiseksi käytössä vain mikrobiprosesseihin perustuva denitrifikaatio, jossa nitraatti haihdutetaan typpikaasuna ilmaan. Denitrifikaation hiilenlähteenä on käytetty ihmisille vaarallisia kemikaaleja kuten metanolia ja uudenlaiset hiilen lähteet ovat olleet intensiivisen tutkimuksen kohteena kiertovesikasvatuksessa. Erityisesti passiivinen puuhakereaktori on osoittautunut Tanskassa kustannustehokkaaksi tavaksi typen poistoon mutta myös kalojen lietteen hiilellä voi olla mahdollista korvata osa ulkoisen hiilen tarpeesta.

7.2. Toimet

Poistovesien käsittelyä puuhakereaktoreilla tutkittiin useassa eri kokeessa, joissa oli käytössä eri mittakaavan hakereaktoreita. Tämän lisäksi tutkittiin hakereaktorilla käsitellyn veden uudelleenkäyttöä kierto-vesijärjestelmässä, joka johti lopulta pilottimittakaavan vedenkäsittelykentän rakentamiseen Laukaan kalanviljelylaitoksen kierto-vesikasvatusta tutkimusjärjestelmien yhteyteen. Koe- ja pilottimittakaavassa selvitettiin:

- hakereaktorit nitraattitypen poistossa (Luke, Oulun yliopisto)
- vedenkäsittelykentän käyttö kierto-vesikasvatuksessa (Luke, Oulun yliopisto)
- rakeinen aktiiviliete nitraattitypen poistossa (Aalto yliopisto)
- orgaaniset lietevedenkäsittelyn kemikaalit (Oulun yliopisto)

Tämän lisäksi Laukaan kalanviljelylaitoksella seurattiin lieteveden kertymistä ja sen käsittelyä polyalumiinikloridilla lietevesikontissa. Innovaatio-ohjelman Laukaan laitoksen kokeista toteutettiin lisäksi vettä mm. Tampereen ja Helsingin yliopiston muiden projektien RAS-tutkimukseen. Tässä osiossa tehtiin yksi väitöskirja ja neljä maisteritutkinnon loppuyötä.

7.3. Tulokset ja niiden tarkastelu

Hakereaktorit nitraattitypen poistossa

Hakereaktoreissa puuhake (5–50 mm) toimii sekä kantoalustana mikrobeille mutta myös hiilen lähteenä denitrifikaatioprosessiin. Hakkeena voi käyttää mitä tahansa puulajia mutta

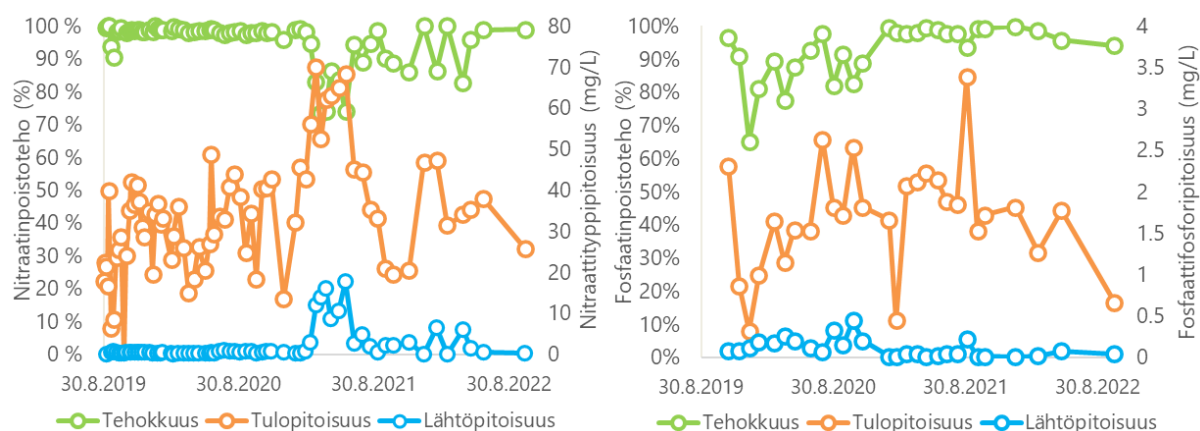
Laukaan kokeissa on käytetty aina koivua, sillä sen arveltiin parhaiten soveltuvan tilanteisiin, jossa vettä ohjataan hakereaktorin jälkeen takaisin kaloille. Hakereaktoreissa nitraatinpoist nopeus on kertaluokkaa pienempi mitä ulkoisen hiilen syöttöön perustuvissa denitrifikaatio- reaktoreissa, jonka takia hakereaktorin koko on suuri (Taulukko 1). Reaktorin viipymä voi vaihdella 15–48 tunnin välillä ja tähän vaikuttaa haluttu tehokkuus sekä reaktorille tuleva nitraattipitoisuus.

Taulukko 1. Erikokoisten hakereaktoreiden suurin havaittu nitraattitypenpoistonopeus sekä keskimääräinen nitraatinpoistotehokkuus (^aPulkkinen ym. 2021, julkaisematon data; ^bLindholm-Lehto ym. 2020, 2021; ^cjulkaisematon data; ^dKiani ym. 2020).

Hakereaktori	Reaktorin koko (m ³)	Maksimi nitraattitypenpoistonopeus (g N / m ³ / päivä)	Keskimääräinen nitraatinpoistotehokkuus (%)
Vedenkäsittelykenttä ^a	26	25	85
Kokeiluympäristö ^b	0.125	15	95
Testiuoma ^c	0.025	26	31
Kolonne ^d	0.002	34	85

Vedenkäsittelykentän käyttö kierto-vesikasvatuksessa

Laukaan vedenkäsittelykenttä koostuu hakereaktorista, vertikaalisesta kosteikosta ja hiekka-suodattimesta. Vaikka hakekentän pääasiallinen tehtävä on typenpoisto, on siinä havaittu korkeita fosforireduktioita (keskimäärin 57 %). Tämä voi johtua pitkästä viipymästä (1,3–7,3 vrk), jolloin pitkä kontaktiaika mahdollistaa fosforin sitoutumisen hakereaktorin biomassaan. Kosteikko on myös poistanut fosforia (keskimäärin 27 %) mutta erityisesti kiintoaineen ja orgaanisen aineen poistossa se on erityisen tehokas. Hiekka-suodatus on myös poistanut fosforia ja kiintoainetta mutta sen kokoon nähden poistonopeudet ovat olleet varsin pieniä. Vedenkäsittelykentällä on nitraattitypestä poistunut keskimäärin 96 % ja fosfaattifosforista 92 % (Kuva 23). Vedenkäsittelykentällä vesi on puhdistunut tehokkaasti ja sitä on pystytty käyttämään uudelleen kierto-vesilaitoksen tulovetenä.



Kuva 23. Nitraattitypen (vasen) ja fosfaattifosforin (oikea) pitoisuudet ennen ja jälkeen Laukaan vedenkäsittelykentän sekä niiden poistotehokkuudet kolmen vuoden ajalta (Pulkkinen ym. 2021 ja julkaisematon data).

Rakeinen aktiiviliete nitraattityypen poistossa

Rakeinen aktiiviliete (engl. Aerobic granular sludge AGS) on suhteellisen uusi biologinen jätevedenpuhdistusmenetelmä, joka on saanut paljon huomiota parin viimeisen vuosikymmenen aikana. Se on tutkitusti yhtä tehokas kuin perinteinen aktiiviliete jätevesien käsittelyssä, mutta sillä on tiiviin, nopeasti laskeutuvan lieterakenteensa ansiosta pienemmät investointi- ja käyttökustannukset sekä tilantarve. Kolmessa diplomityössä tutkittiin AGS:n soveltumista kierto-vesikasvatuksen poistovesien nitraattien poistoon. Kokeessa ajettiin noin kolmen kuukauden ajan rinnakkain kahta reaktoria, joista toinen käsitteli RAS-vettä ja toinen AGS-prosessiin hyvin soveltuvaa synteettistä jätevettä. RAS-jätevetteen lisättiin hiilen lähdeä. RAS-jätevedellä kokonaistyyppipoisto vaihteli 70 % ja 31 % välillä, kun synteettisellä jätevedellä vastaava poistolukemat olivat 79 %. Rakeiden laskeutuvuus ja kestävyys todettiin paremmaksi RAS-reaktorissa. Kolmannessa diplomityössä tutkittiin biohiilen käyttöä AGS-reaktorin käynnistysvaiheen tai prosessihäiriön jälkeisen vakauttamisen nopeuttamisessa. Tulokset kokonaisuudessaan tukevat AGS:n potentiaalia poistaa ravinteita RAS-jätevesistä, mutta pidempi tutkimusjakso olisi tarpeellinen perusteellisempia johtopäätöksiä varten. Tämän tutkimuksen aikana rakeilla ei ollut riittävästi aikaa tottua tehtyihin muutoksiin RAS-jäteveden koostumuksessa, minkä vuoksi AGS:n koko pieneni ja denitrifikaatioteho heikentyi ajan myötä.

Orgaaniset lietevedenkäsittelyn kemikaalit

Kierto-vesilaitokselta tulevan tiivistetyn lietteen hyötykäyttöä hankaloittaa tiivistyksessä käytetyt kemikaalit, jotka sekä sitovat fosforin tiukasti että lisäävät metallien pitoisuutta lietteessä. Laukaan kierto-vesijärjestelmän lietteen tiivistystä testattiin synteettisillä orgaanisilla polymeereillä (polyamiini) ja luonnollisella orgaanisella polymeerillä (tärkkelys), joita verrattiin yleisesti käytössä oleviin alumiinipohjaisiin koagulantteihin. Parhaalla orgaanisella koagulantilla saatiin 83 % reduktio sameudessa ja 65 % fosfaatissa, kun ne parhaalla alumiinipohjaisella koagulantilla olivat vastaavasti 99 % ja 98 %. Vaikka orgaanisten koagulanttien käyttö mahdollistaisi lietteen hyötykäytön, on kemikaalien teho niin huono, että ympäristönsuojelullisiin tavoitteisiin niiden käytöllä ei päästäisi.

7.4. Poistovesien käsittelyn kehityssuunnat

Poistovesien käsittely tulee olemaan entistä suuremmassa roolissa kierto-vesiyriyten taloudellisen kannattavuuden saavuttamisessa. Varhaisimmista laitoksista ei ole asetettu erillistä tyypinpoistovelvoitetta mutta kaikissa uusissa luovissa myös tyypin päästöille on asetettu rajat. Pienemmillä laitoksilla hakereaktoreiden käyttö voi olla erittäin kustannustehokas tapa tyypin poistoon mutta varsinkin suurilla laitoksilla liukoisen tyypin poistamisessa tarvitaan kehitystyötä. Kierto-vesilaitosten kapasiteetin kasvaessa voivat lietettä hyötykäyttävät mahdollisuudet kuten biokaasun tuotanto sekä ravinteiden talteenottoon liittyvät ratkaisut tulla taloudellisesti kannattavaksi, mutta kehitystyötä ja parhaiden menetelmien testaamista tulee edelleen tehdä.

7.5. Tuotokset

- Eldaghar, O. 2020. Investigating the use of aerobic granular sludge for removal of nitrogenous compounds for wastewater treatment in a recirculating aquaculture system. Master's thesis. Aalto University, School of Engineering. 88 p.

- Heiderscheidt, E., Tesfamariam, A., Pulkkinen, J., Vielma, J. & Ronkanen, A.-K. 2020. Solids management in freshwater-recirculating aquaculture systems: Effectivity of inorganic and organic coagulants and the impact of operating parameters. *Science of the Total Environment* 742, 140398
- Khan, U.A., Kiani, S., T. Pulkkinen, J., Heiderscheidt, E., Kujala, K., Ronkanen, A.-K., (under review). Contaminant removal and hydraulic processes of a hybrid water treatment field for recirculating aquaculture in cold climatic conditions. Submitted manuscript.
- Kiani S. 2017. A pilot study to assess the potential of denitrifying bioreactors in treatment of aquaculture effluents. Master's thesis. University of Oulu, Environmental Engineering. 64 p.
- Kiani, S., Kujala, K., Pulkkinen, J.T., Aalto, S.L., Suurnäkki, S., Kiuru, T., Tirola, M., Kløve, B. & Ronkanen, A.-K. 2020. Enhanced nitrogen removal of low carbon wastewater in denitrification bioreactors by utilizing industrial waste toward circular economy. *Journal of Cleaner Production* 254: 119973
- Kiani, S. 2022. Development of passive bioreactors treating different types of low carbon wastewater in cold climate conditions. Doctoral Dissertation. *Acta Univ. Oul. C* 855, 2022
- Kiani, S., Khan, U.A., T. Pulkkinen, J., Kujala, K., Kløve, B. & Ronkanen, A.-K., (under review). Design parameters of woodchip bioreactors under cold climate conditions (from laboratory to full scale). Submitted manuscript.
- Kujala, K., Pulkkinen, J. & Vielma, J. 2020. Discharge management in fresh and brackish water RAS: Combined phosphorus removal by organic flocculants and nitrogen removal in woodchip reactors. *Aquacultural Engineering* 90: 102095
- Lindholm-Lehto, P. 2019. Laukaan vedenkäsittelykenttä. Esitelmä 8.11.2019.
- Lindholm-Lehto, P.C., Pulkkinen, J., Kiuru, T., Koskela, J. & Vielma, J. 2020. Water quality in recirculating aquaculture system using woodchip denitrification and slow sand filtration. *Environmental Science and Pollution Research* 27(14): 17314–17328.
- Lindholm-Lehto, P.C., Pulkkinen, J.T., Kiuru, T., Koskela, J. & Vielma, J. 2021. Efficient water treatment achieved in recirculating aquaculture system using woodchip denitrification and slow sand infiltration. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15162-0>
- Lindholm-Lehto, P.C., Lindroos, A.J., Pulkkinen, J.T., Kiuru, T. & Vielma, J. 2022. Trace elements, anions, and carbohydrates in the recirculating aquaculture system using woodchip denitrification, constructed wetland, and sand infiltration. *Water Quality Research Journal* 57: 59–71.
- Lindroos, A.-J., Lindholm-Lehto, P.C., Pulkkinen, J.T., Kiuru, T. & Vielma, J. 2020. The effect of filtration with natural esker sand on the removal of organic carbon and suspended solids from the effluent of experimental recirculating aquaculture systems. *Water, Air & Soil Pollution* 231: 209.
- Pulkkinen, J. 2021. Vedenkäsittelykenttä – Passiiviset vedenkäsittelyratkaisut. Esitelmä 2.9.2021.
- Pulkkinen, J.T., Ronkanen, A.-K., Pasanen, A., Kiani, S., Kiuru, T., Koskela, J., Lindholm-Lehto, P., Lindroos, A.-J., Muniruzzaman, M., Solismaa, L., Kløve, B. & Vielma, J. 2021 Start-up of a "zero-discharge" recirculating aquaculture system using woodchip denitrification, constructed wetland and sand infiltration. *Aquacultural Engineering* 93: 102161.
- Saleem, S. 2021. Optimizing the start-up phase for granular activated sludge using bio char / sludge char powder. Master's thesis. Aalto University, Water and Environmental Engineering. 55 p.

- Suhonen, T. 2021. Evaluating the potency of granular activated sludge in removing nitrogen from recirculating aquaculture system. Master's thesis. Aalto University, Water and Environmental Engineering. 71 p.
- Suurnäkki, S. & Aalto, S. 2018. Puulastukentät kiertovesikasvatuksen typpikuormituksen hallinnassa Tanskassa. Esitelmä 21.3.2018.
- Vielma, J. 2018. Kiertovesilaitoksen poistovedestä uutta vettä passiivisen vedenkäsittelykentän avulla: Laukaan pilottilaitos. Esitelmä 9.11.2018
- Vielma, J. 2019. From RAS effluent to new intake water by woodchip bed, constructed wetland and sand infiltration treatment. Esitelmä 5th NordicRAS Workshop on Recirculating aquaculture systems, 8.10.2019.

8. RAS-kalan laadun hallinta

Petra Lindholm-Lehto, Jani Pulkkinen, Tapio Kiuru, Juha Koskela, Jouni Vielma, Antti Kause Heidi Leskinen, Janne Kaseva (Luke); Samu Pettersson ja Tuula Tuhkanen (Jyväskylän yliopisto)

8.1. Tausta ja tavoitteet

Makuvirheydisteet ovat tyypillisesti lipofiilisiä terpeenipohjaisia yhdisteitä, joita syntyy mikrobien metaboliatuotteena. Kiertovesisympäristössä ne kertyvät helposti kalan lihaan. Makuvirhetutkimuksessa on erityisesti keskitytty mutamaista ja multamaista hajua ja makua tuottavaan geosmiiniin (GSM) ja 2-metyyli-isoborneoliin (MIB). Ihminen pystyy haistamaan ja maistamaan näitä yhdisteitä erittäin pieninä pitoisuuksina. Vaikka alhaisissa pitoisuuksissa ne eivät ole vaarallisia kalalle tai kalaa syöväälle kuluttajalle, vaikuttavat ne kasvatetun kalan kysyntään ja alan maineeseen. Erilaisia menetelmiä makuvirheiden estämiseksi tai poistamiseksi on kattavasti testattu, mutta toistaiseksi kalan raikastaminen puhtaassa vedessä noin viikon ajan ennen myyntiä on ainoa todella toimiva menetelmä. Kuitenkin tutkimuksen myötä on pystytty lyhentämään raikastusaikaa ja parantamaan systeemin vedenlaatua yleisesti, joka vaikuttaa kasvatustulokseen, rehun kulutukseen ja tuotantokustannuksiin.

8.2. Toimet

Kokeet toteutettiin Luonnonvarakeskuksen Laukaan tutkimuslaitoksen kiertovesikasvatuksen kokeilu- ja kehittämissympäristön 10 itsenäisessä RAS-yksikössä, ja osin vanhemmassa 20 altaasta koostuvassa RAS-järjestelmässä. Kemiallisen analytiikan kehitys ja mittaukset tehtiin laboratoriossa Luonnonvarakeskuksen Jokioisten toimipaikalla.

Koe- ja pilottimittakaavassa tutkittiin:

- Kehitettiin kemialliseen analytiikkaan perustuva menetelmä valittujen makuvirheydisteiden tunnistamiseksi ja kvantifioimiseksi
- Peretikkahapon, otsonin ja vetyperoksidin vaikutusta makuvirheydisteiden muodostumiseen ja kertymiseen
- Kalan rasvapitoisuuden ja rasvahappokoostumuksen yhteys makuvirheydisteisiin
- Makuvirheydisteiden muodostumista kalan ja kasvien yhteiskasvatuksessa (aquaponics)
- Makuvirheiden muodostumista, kun kiertoveden käsittelyssä on puuhakereaktori

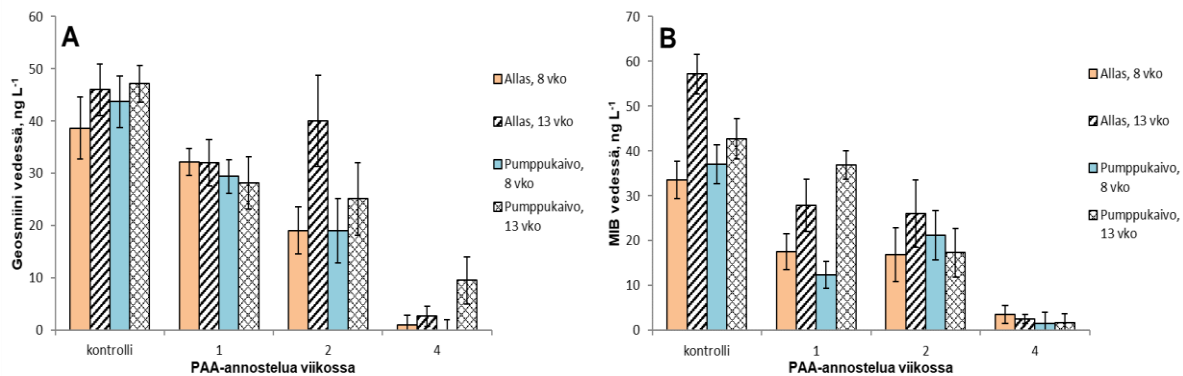
Lisäksi tehtiin havaintoja makuvirheydisteiden kertymisestä kalan eri osiin, yhteydestä kalalajiin, kokoon ja rasvapitoisuuteen sekä makuvirheydisteiden poistumiseen raikastuksen aikana. Todettiin myös, että kehitetty analytiikka soveltuu paitsi kalan lihaksen ja kiertoveden pitoisuuksien määrittämiseen, sillä voidaan analysoida pitoisuuksia myös mm. kalan nahassa, tulovedessä ja kasvin eri osissa. Näiden lisäksi kirjoitettiin katsausartikkeli makuvirhetutkimuksesta kiertovesikasvatuksessa.

8.3. Tulokset ja niiden tarkastelu

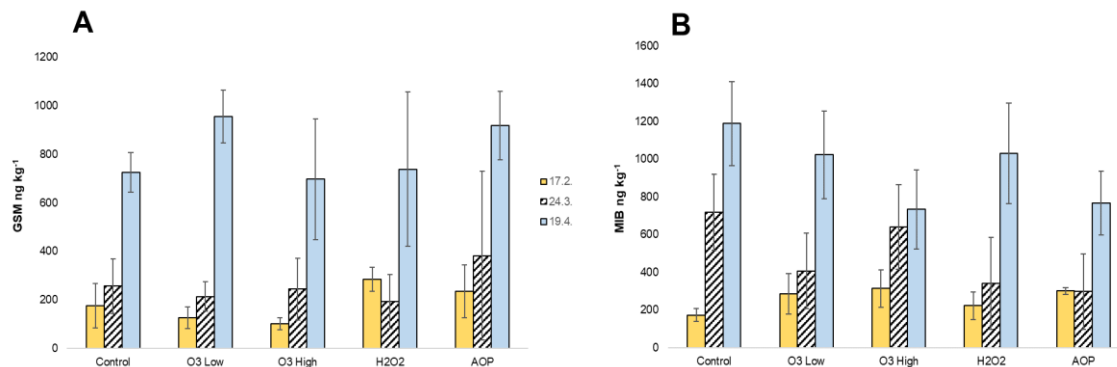
Hapettimien annostelu kiertoveteen

Peretikkahappo (PAA) on voimakas hapetin ja desinfiointiaine, jonka tiedetään kiertovesiympäristössä rajoittavan bakteerien, sienten ja virusten kasvua. Laukaan koelaitoksella tehdyissä kirjolohen kasvatuskokeissa havaittiin, että *Streptomyces* oli pääasiallinen geosmiinin tuottaja. Mikrobin tuottamat makuvirheet muodostuivat pääasiassa biosuodattimessa. PAA annostelu hillitsi makuvirheyhdisteitä tuottavien mikrobin kasvua ja yhdisteiden (GSM, MIB) pitoisuuksia, mutta vaatii jatkuvaa annostelua suurella pitoisuudella (Kuva 24).

Otsoni ja vetyperoksidi ovat hapettavia desinfiointiaineita, jotka reagoivat helposti orgaanisen materiaalin kanssa. Kiertovesiympäristössä on runsaasti erilaista orgaanista ainesta ja kyseisten hapettimien reaktiot ovat epäselektiivisiä. Makean veden systeemeissä otsoni ei muodosta toksisia hajoamistuotteita, parantunut vedenlaatu vähentää tautitapauksia ja helpottaa järjestelmän puhtaanapitoa. Yhdessä otsoni ja vetyperoksidi muodostavat hydroksyyli-radikaalin (OH⁻), jonka tiedetään olevan erittäin vahva hapetin ja pystyvän hapettamaan terpeenipohjaisia makuvirheyhdisteitä. Laukaan koelaitoksella tehty koe osoitti, että otsoni ja vetyperoksidi yhdessä pystyvät vähentämään kalaan kertyviä pitoisuuksia, mutta vaaditaan melko suurta annosta (>0,4 mg O₃ L⁻¹, 0,10 µL H₂O₂ L⁻¹) riittävän vaikutuksen aikaansaamiseksi (Kuva 25).



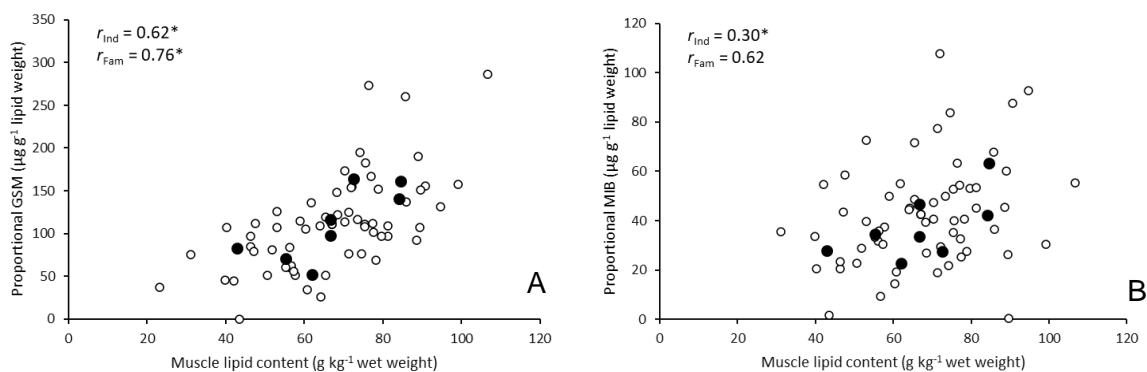
Kuva 24. A) Geosmiini- ja B) 2-metyyli-isoborneoli (MIB) pitoisuudet altaassa ja pumpukkaivossa laskivat, kun peretikkahappoa (PAA) annosteltiin systeemiin 1–4 krt viikossa (2,2 mg L⁻¹ vrk⁻¹). (Uudelleen piirretty Lindholm-Lehto ym. 2019).



Kuva 25. A) Geosmiini (GSM)- ja B) 2-metyyli-isoborneoli (MIB) pitoisuudet kalan lihassa (ng kg⁻¹), kun systeemiin annosteltiin otsonia (O₃) ja vetyperoksidia (H₂O₂) (0,4 mg O₃ L⁻¹; 0,8 mg O₃ mg L⁻¹; 0,15 µL H₂O₂ L⁻¹; O₃ 0,4 mg L⁻¹ ja 0,10 µL H₂O₂ L⁻¹; kontrolli). (Uudelleen piirretty Pettersson ym. 2022).

Kalan rasvapitoisuuden vaikutus

Laukaan koelaitoksella kirjolohella toteutetussa kokeessa havaittiin, että korkean rasvapitoisuuden yksilöihin ja kirjolohiperheisiin kertyi suurempia pitoisuuksia makuvirheydsteitä kuin matalan rasvapitoisuuden perheisiin. Monityydyttymättömien rasvahappojen (PUFA) ja n-3 (PUFA, kaksoissidos kolmanneksi viimeisessä hiilessä) pitoisuudet, joita pidetään ihmisen terveyden kannalta hyödyllisinä, olivat alhaisempia korkean rasvapitoisuuden perheissä ja korkeampia matalan rasvapitoisuuden perheissä (Kuva 26). Tämä on vesiviljelyn kannalta erittäin positiivinen tulos, sillä matalamman rasvapitoisuuden perheet ja yksilöt sisältävät terveyden kannalta suotuisia rasvahappoja, ja niihin kertyy pienempiä pitoisuuksia makuvirheydsteitä.



Kuva 26. A) Geosmiinin (GSM) ja B) 2-metyyli-isoborneolin (MIB) suhteelliset pitoisuudet ($\mu\text{g g}^{-1}$ rasvamassaa) kasvavat lihaksen rasvapitoisuuden funktiona (g kg^{-1} märkäpainoa). (Lindholm-Lehto ym. 2022).

Muita havaintoja

Siian raikastuksen yhteydessä tehdyssä työssä havaittiin eroja makuvirheiden kertymisessä kalan eri osiin. Suurempia pitoisuuksia havaittiin siiasa rasvaisemmissa osissa vatsassa ja niskassa, kun taas matalamman rasvapitoisuuden pyrstössä pitoisuudet olivat pienempiä.

Kokeet osoittavat, että erilaiset prosessiratkaisut voivat vaikuttaa mikrobistoon ja edelleen makuvirheiden muodostumiseen, ja että erot ovat selkeämpiä GSM:n osalta. Esimerkiksi kirjolohen ja pinaatin yhteiskasvatuksessa (aquaponics) havaittiin suurempia GSM:n pitoisuuksia yhteiskasvatuksessa verrattuna pelkkään pinaatinkasvatukseen ja pienempiä GSM:n pitoisuuksia kalassa verrattuna kiertovesisysteemiin. Merkittävää eroa MIB:n osalta ei löydetty. Suurimmat GSM:n pitoisuudet havaittiin pinaatin juuriosissa, kun taas MIB:n osalta kasvin versoissa. Toisessa koeasetelmassa havaittiin merkittävästi pienempiä GSM:n pitoisuuksia kalassa, kun käytettiin hakereaktoriin perustuvaa denitrifikaatiota hyödyntävää systeemiä verrattuna kontrollisysteemiin. Eroa ei kuitenkaan havaittu MIB:n osalta.

Kaikkiaan kokeet osoittivat, että hyvälaatuinen tulovesi on ratkaisevassa roolissa raikastuksen onnistumiseksi, koska pienetkin pitoisuudet tulovedessä voivat jopa estää täydellisen makuvirheiden poistumisen. Toisaalta makuvirheitä voivat aiheuttaa monet muutkin yhdisteet perinteisesti tutkitun GSM:n ja MIB:n lisäksi.

8.4. RAS-kalan laadunhallinta tulevaisuudessa

Tulevaisuuden tutkimuksessa keskitytään edelleen hapettavien yhdisteiden annosteluun makuvirheiden vähentämiseksi. Tähän kuuluu erityisesti sopivien hapettimien tai niiden yhdistelmien valinta ja annostelukohdat prosessissa. Myös biosuodatinten korvaaminen vähemmän mikrobi-intensiivisellä ratkaisulla on yksi kiinnostava vaihtoehto. Raikastuksenaikainen ruokinta on myös osa tulevaa tutkimusta ja vähentäisi kalan raikastuksen aikaista laihtumista. Vaikka näköpiirissä ei toistaiseksi ole menetelmää, jolla raikastuksesta voidaan luopua täysin, on tutkimuksen avulla voitu parantaa kiertovesiprosessia ja raikastusta ja näin parantaa kannattavuutta. Nykyisin myös tarkkaa analytiikkaa makuvirhepitoisuuksien mittaamiseksi on olemassa ja myös kaupallisesti saatavilla.

8.5. Tuotokset

- Atique, F., Lindholm-Lehto, P. & Pirhonen, J. 2022. Is aquaponics beneficial in terms of fish and plant growth and water quality in comparison to separate recirculating aquaculture and hydroponic systems? *Water* 14(9): 1447
- Lindholm-Lehto, P. 2018. Kalan makuvirheiden hallintamenetelmät ja analytiikka, Esitelmä 21.03.2018.
- Lindholm-Lehto, P. 2018. Effect of peracetic acid on geosmin and 2-methylisoborneol levels in recirculating aquaculture system raising rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. World Aquaculture Society, Montpellier France. Poster 26.08.2018.
- Lindholm-Lehto, P. 2018. Uusia tutkimustuloksia kiertovesikasvatuksessa syntyvien makuvirheiden välttämiseksi. Esitelmä 09.11.2018.
- Lindholm-Lehto, P. 2019. Kiertovesikasvatuksessa syntyvien makuvirheiden kertyminen ja estäminen. Esitelmä 12.6.2019.
- Lindholm-Lehto, P. 2019. Water quality in a recirculating aquaculture system with passive denitrification raising rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. European Aquaculture Society, Berlin, Germany. Poster 08.10.2019.
- Lindholm-Lehto, P. 2019. Laukaan RAS-vedenkäsittelykenttä: laboratorio- ja pilottimittakaavan tuloksia. Esitelmä 08.11.2019.
- Lindholm-Lehto, P. 2020. Desinfointi & makuvirheet kiertovesikasvatuksessa. Esitelmä 22.10.2020.
- Lindholm-Lehto, P. 2021. Uusimpia tuloksia makuvirhetutkimuksessa, Esitelmä 24.8.2021.
- Lindholm-Lehto, P. 2021. Uusia tuloksia makuvirheiden estämisestä. Esitelmä 2.9.2021.
- Lindholm-Lehto, P.C. 2022. Developing a robust and sensitive analytical method to detect off-flavor compounds in fish. *Environmental Science and Pollution Research* 29: 55866–55876
- Lindholm-Lehto, P. 2022. Desinfointi ja makuvirheet kiertovesikasvatuksessa, Esitelmä 17.2.2022.
- 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
- Lindholm-Lehto, P.C., Vielma, J., Pakkanen, H. & Alén, R. 2019. Depuration of geosmin- and 2-methylisoborneol-induced off-flavors in recirculating aquaculture system (RAS) farmed European whitefish *Coregonus lavaretus*. *Journal of Food Science and Technology* 56: 4585–4594

- Lindholm-Lehto, P.C., Suurnäkki, S., Pulkkinen, J.T., Aalto, S.L., Tirola, M. & Vielma, J. 2019. Effect of peracetic acid on levels of geosmin, 2-methylisoborneol, and their potential producers in a recirculating aquaculture system for rearing rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquacultural Engineering* 85: 56–64
- Suurnäkki, S., Pulkkinen, J.T., Lindholm-Lehto, P.C., Tirola, M. & Aalto, S.L. 2020. The effect of peracetic acid on microbial community, water quality, nitrification and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) performance in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture* 516: 734534
- Lindholm-Lehto, P., Koskela, J., Kaseva, J. & Vielma, J. 2020. Accumulation of geosmin and 2-methylisoborneol in European whitefish *Coregonus lavaretus* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* in RAS. *Fishes* 5: 2
- Lindholm-Lehto, P.C., Pulkkinen, J.T., Kiuru, T., Koskela, J. & Vielma, J. 2021. Efficient water treatment achieved in recirculating aquaculture system using woodchip denitrification and slow sand filtration. *Environmental Science and Pollution Research* 28: 65333–65348
- Lindholm-Lehto, P.C., Koskela, J., Leskinen, H., Vielma, J. & Kause, A. 2022. Off-flavors and lipid components in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in RAS: Differences in families of low and high lipid contents. *Aquaculture* 559: 738418
- Lindholm-Lehto, P., Pulkkinen, J., Kiuru, T., Koskela, J. & Vielma, J. 2020. Water quality in recirculating aquaculture system using woodchip denitrification and slow sand filtration. *Environmental Science and Pollution Research* 27: 17314–17328 2.1/ 2.2
- Pettersson, S.J., Lindholm-Lehto, P.C., Pulkkinen, J.T., Kiuru, T. & Vielma, J. 2022. Effect of ozone and hydrogen peroxide on off-flavor compounds and water quality in a recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering* 98: 102277

9. Valintajalostus

Antti Kause, Heikki Koskinen ja Antti Nousiainen (Luke)

9.1. Tausta ja tavoitteet

RAS-kasvatukseen sopiva kirjolohikanta

Kirjolohen kiertovesikasvatuksen (RAS) tuotantoympäristö ja kalamateriaalin tavoitellut ominaisuudet poikkeavat perinteisestä merikasvatuksesta. Tehokkain tapa kehittää RAS-kasvatukseen sopiva kirjolohikanta on tehdä oma valintaohjelma RAS-kasvatukselle, jossa erityisesti huomioitavia asioita ovat tuotanto- ja terveysominaisuuksien ilmeneminen tasaisessa lämpötilassa ja jatkuvassa valossa, kalojen rasvoittuminen, sukukypsymisen ajoittuminen, ja usein ilmenevä fileen makuvirhe. Tämän osatyön tavoitteena oli selvittää geneettiset mahdollisuudet RAS-kasvatukseen sopivan kirjolohikannan kehittämiseksi.

Genominen valinta IPN tautiresistenssin parantamiseksi

Kirjolohen tarttuva haimakuoliotauti (IPN) aiheuttaa poikaskuolleisuutta sekä muiden tautien puhkeamista heikentyneissä kaloissa sisävedessä ja merellä. Tauti on sekä taloudellisesti että kalaterveydelle tärkeä. Genominen valinta on eläinjalostuksen uusi valintamenetelmä, joka sopii varsinkin kalojen taudin vastustuskyvyn parantamiseen valintajalostuksella. Genomisessa arvostelussa estimoidaan yksilöiden DNA-profiiliin yhteys parannettavaan ominaisuuteen (kuten vastustuskyky), jonka jälkeen valittavien emokalojen DNA-profiilista voidaan ennustaa miten hyvin ne periyttävät vastustuskykyä. Genominen arvostelu on jo rutiinikäytössä mm. terestrisillä kotieläimillä. Tämän osatyön tavoitteena oli ensi kertaa Suomessa testata ja kehittää genomista arvostelua kirjolohelle, käyttäen esimerkkitapauksena kirjolohen elossasäilyvyyttä IPN-virusaltistuksessa.

9.2. Toimet

RAS-kasvatukseen sopiva kirjolohikanta

Luken Enonkosken kalanviljelylaitoksella perustettiin vuosiluokasta 2018 yhteensä 50 perheen kirjolohiparvi. Perheet kasvatettiin omissa altaissaan ja merkittiin yksilöllisesti id-merkeillä. Kukin perhe kasvatettiin kolmessa eri paikassa, a) Laukaan RAS, b) yritys Kalavaltasen merialtaissa Luvialla, ja c) Luken Enonkosken toimipaikassa. Kalojen loppumittaukset tehtiin Laukaalla syksyllä 2019, Kalavaltasella alkuvuodesta 2020, ja Enonkoskella 2020. Laukaan RAS kaloista mitattiin myös makuvirheen aiheuttavat kemikaalit, geosmiini (GSM) and 2-methylisoborneoli (MIB), sekä lihaksen rasvahappoja. Koe toistettiin vuosiluokan 2019 kaloilla, ilman yksityiskohtaisia fileen laatumittauksia. Aineisto analysoitiin eläinjalostuksen laskennallisilla menetelmillä.

Genominen valinta IPN tautiresistenssin parantamiseksi

IPN-altistuksessa käytettiin Enonkoskella tehtyjä 29 kirjolohiperhettä vuosiluokasta 2018. Ruokavirasto toteutti IPN-tautialtistuskokeen ostopalveluna VESO Vikanin (Norja) kanssa,

sekä teki koetta varten IPN-viruskantojen kasvatuksen ja viruspitoisuuksien määrittämisen. Perheet altistettiin IPN genoryhmille 2, 5, ja 6 ja yksilöiden kuolleisuus merkittiin ylös. Suomessa sisävesiin on levinnyt lievästi patogeeninen IPN genoryhmä 2, kun taas esimerkiksi Norjan ja Skotlannin lohen kasvatuksen kannattavuutta on heikentänyt genoryhmä 5. Kalat genotyyhitettiin käyttäen 57.000 DNA merkkiä IdentiGen Ltd toimesta. Aineisto analysoitiin eläinjalostuksen laskennallisilla menetelmillä.

9.3. Tulokset ja niiden tarkastelu

RAS-kasvatukseen sopiva kirjolohikanta

Kiertovedessä kasvatettujen kirjolohien kasvu-, teurassaanto-, rasvoittumis- ja sukukypsyysominaisuuksissa havaittiin geneettistä vaihtelua, samalla tavalla kuin merikasvatuksessa on aikaisemmin havaittu. Tämä mahdollistaa ominaisuuksien parantamisen kiertoivedessä. Fileen makuvirhekemikaalien pitoisuudet olivat voimakkaassa yhteydessä kalojen rasvapitoisuuteen, ja sama yhteys esiintyi myös perheiden välillä. Täten makuvirhettä on mahdollista vähentää rajoittamalla rasvan määrää valintajalostuksella. Lisäksi havaittiin, että ominaisuuksissa oli ns genotyypin ja ympäristön yhdysvaikutus, joten parhaat perheet kiertoivedessä eivät ole parhaita perheitä merellä. Perheiden järjestyksen muuttuminen ei ollut voimakasta, mutta tämä tarkoittaa, että kiertovesiominaisuuksien mittausta ja valinta on tehokkain tapa parantaa kirjolohen ominaisuuksia kiertoivedessä.

Käyttäen tietoa ominaisuuksien tärkeydestä yrityksille kehitettiin valintaindeksi, jolla voidaan valita parhaat emokalat usean kiertoivedessä mitatun ominaisuuden perusteella. Aineisto ja tulokset käytettiin RAS-kasvatukseen sopivan kirjolohikannan luomiseksi. Kertynyttä tietotaitoa käytettiin hankkeen jälkeen tekemään Enonkoskella RAS-kanta, joka siirretään Luken partneriyhteyden käyttöön vuodesta 2023 alkaen.

Genominen valinta IPN tautiresistenssin parantamiseksi

Kirjolohen elossasäilyvyydestä IPN2-altistuksessa selittyi 31 % genetiikalla. Vastustuskykyä on siis mahdollista parantaa valinnalla. Kirjolohen genomista löytyy useampi alue, joilla on suuri vaikutus elossasäilyvyyteen. Kirjolohen geneettinen vastustuskyky IPN genoryhmää 2 ja 5 vastaan määräytyy pitkälti samojen geenien vaikutuksesta. Tämä helpottaa kehittämään monelle genotyypille vastustuskykyistä kirjolohta. (IPN genotyyppi 6 virus ei löytynyt kirjolohen solujen sisältä, joten elossasäilyvyys sitä vastaan ei korreloinut genotyyppi 2 ja 5 kanssa).

Aineistolla kehitettiin ensi kertaa kirjohelle genominen arvostelu. Kertynyt tieto ja osaaminen on käytetty yritys yhteistyössä tautiresistenssin kirjolohikannan tekemisessä.

9.4. Suositukset jatkotoimiksi

Työtä elinkeinon hyväksi jatketaan yhä kilpailukykyisempien valintaohjelmien kehittämällä ainakin seuraavien teemojen alla: a) DNA-merkkien ja genomisen arvostelun kehittäminen sille; b) genomisen arvostelun kehittäminen muille tärkeille ominaisuuksille, ml. teurasominaisuudet, sukukypsyyttä, vastustuskykyä vesihomeelle ja muille taudeille; c) genomisen tiedon mallintaminen yhä tarkemman arvostelun tekemiseksi, ja d) tehokkaan valintaohjelman kehittäminen kiertovesikannan ominaisuuksien parantamiseksi.

9.5. Tuotokset

- Sovellus 1: Aineisto ja tulokset käytettiin RAS-kasvatukseen sopivan kirjolohikannan luomiseksi.
- Sovellus 2: Aineistolla kehitettiin ensi kertaa kirjohelle genomisen arvostelu. Kertynyt tieto ja osaaminen on käytetty yritysysteistyössä tautiresistenssin kirjolohikannan tekemisessä.
- Kause, A., Koskinen, H., Nousiainen, A., Eriksson-Kallio, M., Holopainen, R. & Gadd, T. 2020. Uusi valintatyökalu: Genominen valinta tautiresistenssin parantamiseen. Esitelmä 5.-6.11.2020.
- Eriksson-Kallio, A.M., Holopainen, R., Koski, P., Nousiainen, A., Koskinen, H., Kause, A. & Gadd, T. 2020. Susceptibility of rainbow trout to three different genogroups of IPN virus. *Fish Immunology* 141: 103–116.
- Lindholm-Lehto, P.C., Koskela, J., Leskinen, H., Vielma, J. & Kause, A. 2022. Off-flavors and lipid components in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in RAS: differences in families of low and high lipid contents. *Aquaculture* 559: 738418.

10. Kalojen hyvinvointi

Anna Maria Eriksson-Kallio, Tiina Korkea-aho, Riikka Holopainen, Tuija Gadd, Satu Viljamaa-Dirks (Ruokavirasto); Krista Norvasuo, Janita Nieminen ja Marja Tirola (Jyväskylän yliopisto)

10.1. Tausta ja tavoitteet

Kalatautien tutkimusta kiertovesilaitoksilta on tehty vähän. Ympäristöolosuhteet poikkeavat perinteistä läpivirtauslaitoksista, mikä vaikuttaa myös kalatautien erilaiseen esiintymiseen. Lisäksi tarttuvien tautien hoito ja hävittäminen kiertovesilaitosolosuhteissa voi olla haasteellista. Kalataudeilla on merkittävä vaikutus sekä kalojen hyvinvointiin että vesiviljelyn tuottavuuteen. Hankkeessa keskityttiin tutkimaan erityisesti kahta kalatautia: lohikalojen tarttuvaa haimakuoliota (IPN) sekä erityisesti kiertovesilaitoksilla esiintynyttä kirjolohen suolistotulehdusta (RTGE, rainbow trout gastroenteritis).

Tarttuva haimakuoliotauti IPN (infectious pancreatic necrosis) on akvabirnaviruksen aiheuttama helposti leviävä kalatauti, joka aiheuttaa taloudellisia tappioita viljellyillä lohikaloilla maailmanlaajuisesti. Viruksesta esiintyy nykytietämyksen mukaan seitsemän eri taudinaiheuttamiskyvyltään vaihtelevaa genoryhmää (1–7), joista genoryhmään 5 kuuluvia viruksia on pidetty potentiaalisesti vakavimpina taudinaiheuttajina. Genoryhmän 5 IPN-virustartunta on Suomen sisävesialueilla lakisääteisesti vastustettava, valvottaviin eläintauteihin kuuluva kalatauti. Kuolleisuus vaihtelee viruskannan, kalalajin ja kalan iän mukaan. Suomessa IPN-tautia on todettu merialueilla vuosittain, kun taas Suomen sisävesialueilla oli vuoteen 2012 asti EU:n myöntämä IPN-vapaa tautistatus. Vuonna 2012 tautia todettiin kuitenkin kirjolohessa usealla sisämaan kalanviljelylaitoksella eri vesistöalueilla, mukaan lukien kiertovesiviljelyssä, minkä jälkeen taudista on tullut pysyvä ilmiö myös sisämaan laitoksilla. Tällä hetkellä Suomen sisämaan vesialueet ovat vapaita genoryhmän 5 IPN-viruksista, mutta näiden virusten leviäminen mereltä sisämaahan on todellinen uhka. Hankkeessa selvitettiin suomalaisten IPN-viruskantojen taudinaiheuttamiskykyä suomalaista alkuperää olevalla kirjolohella. Tavoitteena kokeella oli selvittää eri viruskantojen merkitystä taudinaiheuttajina, sekä kerätä materiaalia IPN-taudille vastustuskykyisen kirjolohikannan tuottamiseen suunniteltavan valintajalostustyökalun tarpeisiin. Valintajalostustyökalua käsitellään kappaleessa 9 ”Valintajalostus”.

RTGE-tautia havaittiin Suomessa ensimmäisen kerran vuonna 2010 merialueella ja vuonna 2012 sisämaan laitoksilla. Vuodesta 2012 kiertovesilaitoksilla on tavattu toistuvasti RTGE-tautia. Oireilevia tautitapauksia esiintyy erityisesti lämpimässä vedessä 0–1-vuotiailla kirjolohilla. Suolistotulehduksen yhteydessä havaitaan suolessa *Candidatus arthromitus* -bakteereita, joita myös SFB (Segmented Filamentous Bacterium) nimellä kutsutaan, sillä bakteerin lajia ei aina pystytä varmistamaan. Bakteeri on vaikea määrittää ja havaita, koska sitä ei ole onnistuttu kasvattamaan kasvualustalla, ja näin ollen sitä ei ole pystytty eristämään tai kasvattamaan laboratoriossa tarkempia tutkimuksia varten. Kalan suolen oikeanlainen mikrobiomi on tärkeässä osassa kalan ravinteiden tehokkaassa imeytymisessä ja immuunipuolustuksessa ja näin vaikuttaa myös kalan yleiseen terveyteen ja hyvinvointiin, kuten tautien tarttumiseen. Tässä tutkimuksessa vertailtiin kalojen suolen mikrobiomia ja RTGE-taudin vaikutuksia kalan suolen mikrobiomiin. Uuden ajan sekvensointi menetelmä (NGS) mahdollistaa kalan suolen mikrobiomin kokonaisvaltaisen tutkimuksen, mukaan lukien mikrobien, joita ei voida kasvualustalla tutkia, kuten *C. arthromitus*. Lisäksi tässä tutkimuksessa kehitettiin PCR- menetelmä, joka

mahdollistaa RTGE-taudin nopeamman ja tarkemman diagnosoinnin ja näin myös antaa väli-
neitä RTGE-taudin hallintaan.

Tarttuva vertamuodostavan kudoksen kuolio (IHN, infectious haematopoietic necrosis) on IHN-
viruksen aiheuttama suuria saneeraustoimia edellyttävä tauti. Virus on todettu suomalaisilla ka-
lankasvattamoilla vuosina 2017, 2018 ja 2021, sekä viimeksi kesällä 2022 Ahvenanmaalla sijait-
sevalla kiertovesilaitoksella. IHN-virusta seulotaan soluviljelymenetelmin Ruokavirastossa kalan-
kasvattamojen lähettämistä kalojen elinnäytteistä. Soluviljelmän ja viljelmästä tehtävän PCR-tes-
tin hitauden vuoksi taudin varmistaminen kestää viikosta kahteen viikkoon. Jos laitokselle tule-
vien mätä- ja kalakuormien tautivapaus voitaisiin todentaa paikan päällä ennen kuorman pur-
kua, voitaisiin kalanviljelylaitoksen saneerauksesta johtuvia miljoonaluokan vahinkoja ehkäistä
tehokkaasti. Tässä työssä selvitettiin, mitä pitäisi huomioida, mikäli molekyylibiologista diagnos-
tiikkaa haluttaisiin toteuttaa kalanviljelylaitoksella IHN- ja VHS-virusten omavalvontana.

IPN- ja RTGE-työstä vastasi Ruokavirasto ja IHN-työstä Jyväskylän yliopisto.

10.2. Toimet

IPN-tutkimuksessa suoritettiin altistuskoe Norjan VESO Vikanissa. IPN-altistuskokeessa infek-
toitiin starttivaiheessa olevia suomalaisen JALO-kirjolohikannan poikasia kastamalla poikaset
virusliuokseen. Tämän jälkeen kaloja kasvatettiin 53 päivän ajan, jolloin niiden kuolleisuutta
seurattiin ja niistä otettiin tutkimussuunnitelman mukaisia jatkonäytteitä virustutkimuksia, ku-
dostutkimuksia sekä DNA-tutkimuksia varten. Kokeessa käytetyt viruskannat olivat suomalais-
ten genoryhmien 2,5 ja 6 viruksia, lisäksi kokeessa oli positiivinen (Norjalainen IPN gr 5) sekä
negatiivinen kontrolli. Yhtensä kokeessa oli 21 allasta, joissa 120 kalaa/allas.

RTGE tutkimuksiin valittiin 39 kirjolohta suomalaisista läpivirtaus- ja kiertovesilaitoksista. Ka-
loille suoritettiin ruumiinavaus, jossa tautiin viittaavat muutokset huomioitiin ja suolet tutkit-
tiin mikroskooppisesti RTGE-taudin varalta. Lisäksi suolista otettiin näytteet DNA-eristystä
varten ja tarkasteltiin mikrobiomin muutoksia NGS menetelmällä, jossa käytettiin Illumina Mi-
Seq -sekvensointilaitetta ja sekvensoitiin 16S-geeniä käyttäen V3-V4 -alukkeita. Lisäksi ka-
loilta, joilla todettiin RTGE-taudin oireita ja/tai SFB-bakteereita suolessa, sekvensoitiin suoli-
näytteet käyttäen *C. arthromitus* -bakteeria monistavia alukkeita. Näiden spesifien sekven-
sointien perusteella suunniteltiin useita aluke ja koetin yhdistelmiä, joiden tarkkuutta ja herk-
kyttä vertailtiin PCR-menetelmillä. Tutkimuksessa saatiin kehitettyä näin reaaliaikainen PCR-
menetelmä, jolla pystytään havaitsemaan luotettavasti *C. arthromitus* -bakteeri kalan suoletta.

IHN-osiossa tutkittiin IHN:n diagnostikkaa kokeellisista merivesinäytteistä, joihin lisättiin vi-
rusten RNA:ta. IHN-viruksen lisäksi testattiin tuplatestiä, jossa tutkittiin sekä IHN että VHS-
virusten määrää yhtäaikaaisesti. Lopuksi menetelmän avulla tutkittiin näytteitä, jotka oli kerätty
IHN-viruksella saastuneen viljelylaitoksen altaista ennen saneeraustoimien aloittamista. Näyt-
teiden siirto Jyväskylän yliopiston Bio- ja ympäristötieteen laitoksen bioturvalaboratorioon
(BSL2) vaati sekä Ruokaviraston että Ahvenanmaan maakuntahallinnon luvan. Molekyylibiolo-
ginen RT-qPCR-menetelmä toteutettiin EURL:n (European Union Reference Laboratory for
Fish and Crustacean Diseases) julkaisemaa TaqMan-kemiaan perustuvaa menetelmää seura-
ten (<https://www.eurl-fish-crustacean.eu/fish/ diagnostic-manuals/ihn>, 15.9.2022). Käytetyt
IHN-viruksen geenikoettimet perustuivat Euroopasta eristettyjen IHN-virusten geenitietoon
(Hoferer ym. 2019). Kokeisiin tuotettiin IHN- ja VHS-virusten synteettistä RNA:ta, ja sisäisenä
kontrollina käytettiin kirjolohen β -actin-geeniä. Näytteiden nukleiinihapot eristettiin Quick

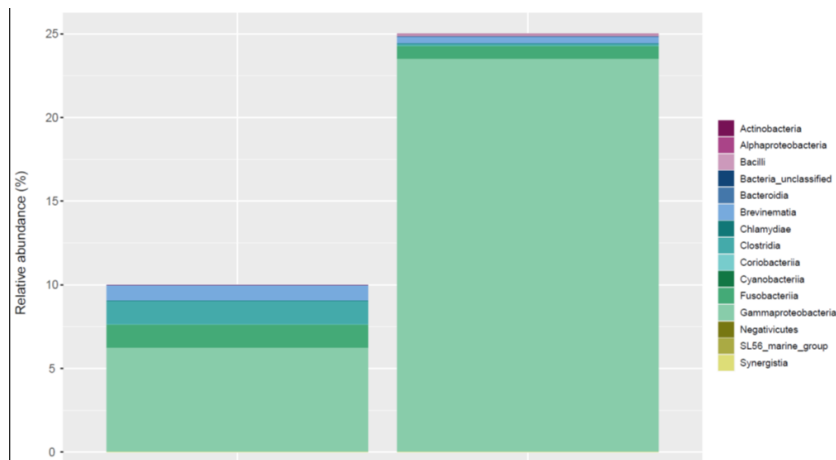
Viral RNA affiniteettipylväillä (Zymo Research). Diagnostisen herkkyyden lisäämiseksi merivesinäytteiden konsentrointia tutkittiin kylmäkuivauksella, polyetyleeniglykoli (PEG20000) -saostuksella, InnuPREP-tiivistyksellä (innuPREP TCT Target Concentration Kit Water, IST Innuscreen GmbH) sekä ultrafiltraatiolla (Amicon Ultra 15 centrifugal filters, 10 000 NMWL, Millipore).

10.3. Tulokset ja niiden tarkastelu

IPN-tutkimuksen virusaltistuskokeessa todettiin genoryhmän 5 virusten aiheuttavan kohtalaista kuolleisuutta ja genoryhmän 2 vaihtelevaa, mutta vähäisempää kuolleisuutta kirjolohella. Genoryhmän 6 virusten taudinaiheuttamiskyky jäi tutkimuksessa epäselväksi. Tulokset perustuvat yhteen tutkittuun viruskantaan per genoryhmä, mutta on perusteltua olettaa, että suomalaiset IPN genoryhmän 5 virukset omaavat korkeamman taudinaiheuttamiskyvyn kuin genoryhmien 2 ja 6 virukset.

Kirjolohilla, joilla oli RTGE-taudin oireita ja mikroskooppinen havainto SFB-bakteereista suolessa, sekvensoitiin tunnistettavasti myös *C. arthromitus* -bakteerien runsastuminen suolessa. Terveen kirjolohen suolessa havaittiin hyvin runsaasti gammaproteobakteereihin kuuluvia mikrobeja, kun taas RTGE-tautiin sairastuneiden kalojen suolessa gammaproteobakteereita tavattiin suhteellisesti vähemmän (Kuva 27). RTGE-tautia sairastavien kalojen suolessa havaittiin myös selkeästi runsaammin Clostridia-ryhmän bakteereita, johon *C. arthromitus* kuuluu, kuin terveillä kaloilla (Kuva 18). RTGE-tauti aiheutuu todennäköisesti koska *C. arthromitus* ei pelkästään runsastu suolessa, mutta myös muuttaa kalan mikrobiomia ja vie elintilaa kalan terveyteen ja hyvinvointiin positiivisesti vaikuttavilta bakteereilta. Tässä tutkimuksessa käytetyllä aineistolla ei löydetty eroa suolen mikrobiomissa eri kasvatusolosuhteiden välillä.

C. arthromitus -bakteerin havaitsemiseksi kehitettiin reaaliaika PCR-menetelmä (Taulukko 2), joka tunnisti kaikki mikroskooppisesti ja sekvensoinneilla positiiviseksi todetut RTGE-näytteet, mutta ei muita suolessa yleisesti esiintyviä bakteereita, kun niitä tutkittiin PCR-menetelmällä. Tämä varmistettiin, että kehitetyt alukkeet olivat valikoivia ja luotettavia tunnistamaan *C. arthromitus* -bakteerin. Lisäksi reaaliaika PCR-menetelmä tunnisti hyvin pienen määrän *C. arthromitus* DNA:ta, joten se on myös herkkä menetelmä havaitsemaan suolinäytteistä *C. arthromitus* -bakteerin.



Kuva 27. Eri mikrobiryhmien suhteellinen esiintyminen kirjolohen suolessa, kun kalalla on todettu RTGE-tauti (vasen pylväs, n=13) tai kalalla ei ole todettu RTGE-tautia (oikea pylväs, n=26). Gammaproteobakteerien määrä (vaaleanvihreä osuus) on suhteellisesti moninkertainen terveen kalan suolessa, verrattuna RTGE-tautia sairastavaan kalaan.

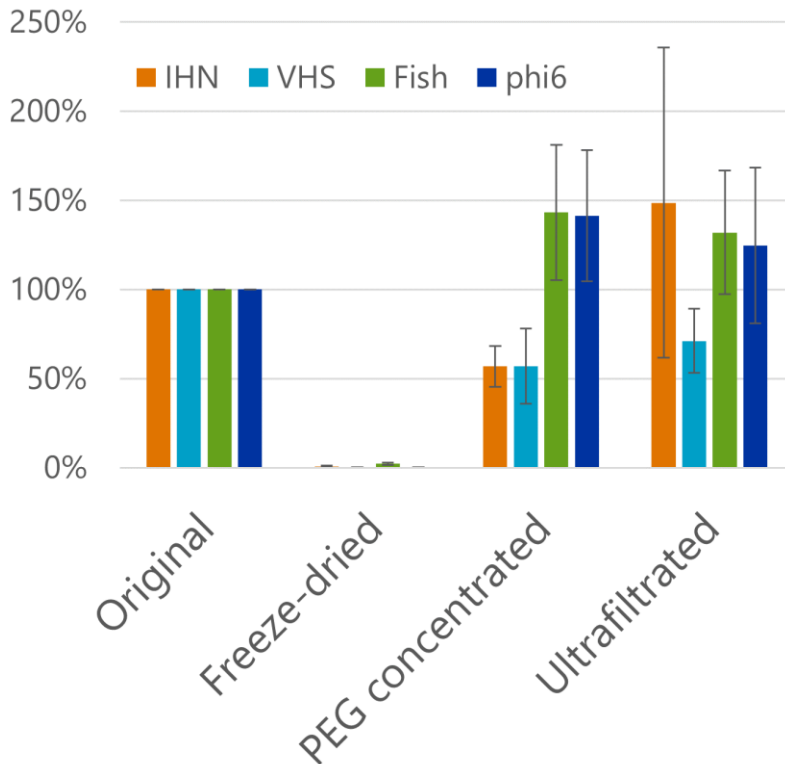
Taulukko 2. Kehitettyssä reaaliaika PCR-menetelmässä *C. arthromitus* -bakteerin 16S rDNA-geeniä monistavat alukkeet ja koetin, niiden sulamislämpötilat (T_m), monistuvan tuotteen koko ja monistuva geeni. *T_m lämpötila laskettu nukleotidisekvenssin perusteella.

Aluke	Sekvenssi 5' -> 3'	T _m (°C)	Tuotteen koko (ep)	Geeni
RTGE_for	TATGGGCTTAACCCGTAGAAAGCA	61,6	156	16S rDNA
RTGE_rev	CTCATGCCTCAGCGTCAGTTA	60,3		
RTGE_probe	FAM-CTGTGTAAGTAGAGTGCA-MGB	51,5*		

Viruksen diagnostiikka voidaan suorittaa laitosolosuhteissa suhteellisen yksinkertaisen välineistön avulla (mikropipetit, mikrosentrifuugi sekä qPCR-laite). Menetelmä olisi toteutettavissa 3 tunnin sisällä ja noin 30 minuutin hands-on ajalla, mikäli työhön olisi tarjolla valmiiksi annosteltuja reagenssikittejä ja kontrolleja. Kittien suunnittelussa tulisi huomioida sisäisen kontaminaation esto (nk. UNG-käsittely ja PCR-muovien tiiveys). Laitosolosuhteissa tehtävän diagnostiikan suunnittelussa on lisäksi huomioitava tilajärjestelyt sijoittamalla PCR-laite eri ilmanvaihtoalueelle kuin näytteiden käsittely.

On kuitenkin huomioitava, että menetelmän tekninen herkkyys rajoittuu useisiin viruspartikkeleihin millilitrassa, koska herkkyyttä ei voitu parantaa lisäämällä vesimäärää konsentroidin kautta (kuva 28). Useat konsentroidintimenetelmät, kuten innuPREP ja kylmäkuivaus, osoittautuivat sopimattomiksi suola sisältäville merivesinäytteille. Konsentroidintia PEG20000-saostuksen ja ultrafiltrauksen kautta tuottivat näytetyypistä riippuen vaihtelevia tuloksia verrattuna konsentroidimattomiin merivesinäytteisiin. Kokeissa tutkimme kuitenkin IHN- ja VHS-virusten osalta synteettistä RNA:ta, joka saattaa olla herkemmin hajoavaa kuin viruksen sisällä oleva RNA. Tämän tähden saattaisi olla syytä edelleen tutkia varsinaisten virusnäytteiden konsentroidintia ultrafiltraation avulla, jolloin analysoitava vesitilavuus nousee yli 30 kertaa suuremmaksi kuin ilman konsentroidintia. Lisäksi on huomattava, että PCR-menetelmän epävarmuustekijöihin kuuluu virusten mahdollinen geneettinen muokkautuminen, sillä jo yhdenkin emäsparin muutos diagnostiikan kohteena olevalla geenialueella voi vähentää menetelmän herkkyyttä.

Tutkittaessa IHN-viruksella saastuttaman kalanviljelylaitoksen allasnäytteitä 2/9 näytteistä osoittautui positiiviseksi IHN-viruksen suhteen RT-qPCR-diagnostiikan avulla, ja tulos oli sama ultrafiltraation avulla konsentroiduilla näytteillä. Positiiviset löydökset saatiin kalojen raikas-tusaltaista. Koska viruksen pitoisuudet näissäkin allasvesissä olivat erittäin pienet (<100 viruskopiota/ml) ja lähellä menetelmän teknistä määritysrajaa, on erittäin epätodennäköistä, että kiertovesilaitoksesta voisi löytyä tällä menetelmällä mitattavia määriä IHN-virusta saneeraus-toimenpiteiden jälkeen.



Kuva 28. Merivesinäytteiden konsentroidin vaikutus IHN- ja VHS-virusten ja kalan RNA:n sekä phi6-faagin suhteelliseen määrään RT-qPCR-menetelmällä analysoituna. Konsentroidinilla ei saavutettu parempaa diagnostista herkkyyttä, sillä kylmäkuivaus lähes hävitti tutkittavan RNA:n, ja muut menetelmät tuottivat näytetyypistä riippuen vaihtelevia tuloksia konsentroidimattomiin näytteisiin verrattuna.

Viitteet

Hoferer, M., Akimkin, V., Skrypski, J., Schütze, H. & Sting, R. 2019. Improvement of a diagnostic procedure in surveillance of the listed fish diseases IHN and VHS. *Journal of Fish Diseases* 42: 559–572.

Olesen, N.J., Cuenca, A. & Vendramin, N. 2021. Diagnostic methods and procedures for the surveillance and confirmation of infection with VHSV and IHNV v2021.2. EURL for Fish and Crustacean Diseases DTU Aqua. <https://www.eurl-fish-crustacean.eu/fish/diagnostic-manuals/ihn>

10.4. Yleiset nostot ja jatkotutkimustarpeet

- Korkean taudinaiheuttamiskyvyn omaavan IPN-viruskannan leviäminen suomalaisille kirjolohien poikaslaitoksille voi potentiaalisesti aiheuttaa suuriakin taloudellisia tappioita, joten viruksen leviämisen ennaltaehkäisy onkin erittäin tärkeää. Viruksen ollessa sekä herkästi leviävä sekä vaikeasti hävitettävä, on taudin leviämisen ehkäisemistä edistettävä tehokkailla bioturvallisuustoimilla. IPN-taudille vastustuskykyisen kotimaisen kirjolohikannan kehittäminen on tärkeä lisätyökalu taudinhallinnassa.

- Eri IPNV genoryhmiin kuuluvien viruskantojen taudinaiheuttamiskyky sekä genoryhmien sisäisten kantojen mahdollinen muuntuminen korkeamman taudinaiheuttamiskyvyn omaaviksi ovat huomioitavia tekijöitä tulevaisuudessa.
- Kiertovesiviljelyssä käytetään usein jatkuvan kehitystyön kohteena olevia rehuja. Yksi suurin kalan suoliston mikrobiomin rakenteeseen vaikuttava tekijä on rehu. Kirjolohen mikrobiomin analyysissä huomattiin, että kirjolohen suolen hyvien mikrobien osuus oli muuttunut RTGE-tartunnan saaneilla kaloilla. Tarkempaa tutkimusta tarvitaankin siitä, miten kiertovesiviljelyssä käytetyt rehut muuttavat kirjolohen suolen mikrobiomia, ja altistaako se kirjolohia RTGE- taudille.
- *C. arthromitus* -bakteerin sekvensointi RTGE-tartunnan saaneiden kirjolohien suolesta mahdollisti reaaliaikaisen PCR-menetelmän suunnittelun, jota voidaan käyttää jatkossa nopeaan ja herkkään *C. arthromitus* -bakteerin tunnistukseen kaloissa.
- RTGE-taudin tunnistavaa reaaliaikaista PCR-menetelmää voidaan jatkossa kehittää niin, että se tunnistaa myös ympäristönäytteistä, kuten kasvatusaltaiden vedestä, *C. arthromitus* -bakteerin DNA:ta ja näin voidaan arvioida kyseisen bakteerin esiintymistä ja pysyvyyttä kiertovesilaitoksen ympäristössä.

10.5. Tuotokset

- Eriksson-Kallio, A.M., Holopainen, R., Koski, P., Nousiainen, A., Koskinen, H., Kause, A. & Gadd, T. 2020. Susceptibility of rainbow trout to three different genogroups of infectious pancreatic necrosis virus. *Diseases of Aquatic Organisms* 141: 103–116.
- Eriksson-Kallio, A.M. Kalojen haimakuoliotauti (IPN): eri viruskantojen taudinaiheuttamiskykyä tutkittu tartuntakokein. Esitelmä 14.11.2019.
- Eriksson-Kallio, A.M. IPN-vastustuskyvyn lisääminen emokalaston hallinnalla. Esitelmä 8.11. 2019.
- Eriksson-Kallio, A.M. IPN-taudista lisätietoa tutkimuksen avulla. Kirjallinen tiivistelmä 18.3.2020.
- Eriksson-Kallio, A.M. CHARACTERISTICS OF INFECTIOUS PANCREATIC NECROSIS IN FINLAND. Epidemiology, genetic characterization and virulence of infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) of farmed fish in Finland. 2022. Väitöskirja.
- Viljamaa-Dirks, S. & Korkea-aho, T. Kirjolohen suolistotulehdus tutkimuksen kohteena. Kalaterveyspäivä 2021.

11. Vesiviljelyalan koulutus ja tiedonsiirto

Antti Forsman (Ammattiopisto Livia) ja Juhani Pirhonen (Jyväskylän yliopisto)

11.1. Tausta ja tavoitteet

Innovaatio-ohjelman suunnitteluvaiheessa tunnistettiin, että mikäli vesiviljelyssä käytettävät tekniikat ja toimintatavat muuttuvat, aktiviteeteissa tuotetun materiaalin saaminen koulutuksen käyttöön ja opiskelijoiden sitouttaminen ohjelman toimiin on tärkeää. Niinpä ohjelmaan tuli mukaan kaksi koulutusta antavaa tahoa. Lisäksi Suomen Kalankasvattajaliiton rooliin kuului innovaatio-ohjelman tiedon välittäminen yrityksille omia hyväksi havaittuja kanavia käyttäen.

Jyväskylän yliopisto on tällä hetkellä Suomen ainoa korkeakoulu, jossa on oma kurssinsa kalanviljelystä. Opetussuunnitelmauudistuksen (2017) vuoksi kalanviljelyyn ja sen tutkimukseen liittyvää opetusta ja kurssitarjontaa jouduttiin vähentämään Jyväskylässä oleellisesti, ja jäljelle jäi vain yksi 6 opintopisteen laajuinen vesiviljelykurssi. Vesiviljelyyn pystyy yliopistossa erikoistumaan lähinnä työharjoittelun ja tutkielmien (LuK ja pro gradu) kautta. Toisaalta Vesiviljelystrategian tavoitteena oli toimiva koulutusjärjestelmä, ja toimenpiteenä oli esitetty sen varmistaminen, ”että ammatillinen ja korkeakoulutus tuottavat vesiviljelytuotannon kasvun edellyttämiä osaajia”. Tällä hetkellä suunta näyttäisi kuitenkin olevan juuri päinvastainen, erityisesti korkeakoulutuksen osalta.

Kalatalouden ammatillista koulutusta tarjotaan Suomessa kolmessa eri koulutuskuntayhtymässä, joista ammattiopisto Livia on yksi. Vuonna 2021 kalatalouden perustutkinnosta valmistui koko Suomessa vain 21 henkilöä ja ammattitutkinnosta 24 henkilöä. Nämä suoritettut tutkinnon jakautuvat vielä eri kalatalouden haaroihin, joten arvion mukaan vesiviljelijäksi valmistuneiden osalta puhutaan vain muutamista henkilöistä. Pieni vesiviljelyn opinnosta valmistuvien opiskelijoiden määrä vaikuttaa oppilaitostasolla sekä koulutuksen kehittämiseen että olemassa olevan koulutuksen järjestämismahdollisuuksiin. Samaan aikaan vesiviljelyalan yrityksissä haasteena löytää osaavaa ja koulutettua työvoimaa olemassa olevaan työvoimatarpeeseen. Ammatillisessa koulutuksessa tavoitteena on kehittää koulutusta tuottamalla avointa oppimateriaalia vesiviljelyalalle tiiviissä yhteistyössä alan yrityksen ja tutkimuksen kanssa.

11.2. Toimet

Ammattiopisto Livia selvitti saatavilla olevan suomenkielisen vesiviljelyn oppimateriaalin tilanteen, jonka perustella se laati suunnitelman tuotettavasta oppimateriaalista. Lisäksi Livia yritysten näkemystä niiden työvoima- ja osaamistarpeesta. Liviaan rakennettiin uusi vesiviljelyn oppimisympäristö, johon kaikilla asiasta kiinnostuneilla on vapaa pääsy ja myös mahdollisuus vaikuttaa sen sisältöön. Oppimisympäristö avattiin 2017 ja sinne tuotettiin materiaalia koko innovaatio-ohjelmakauden ajan. Ohjelmakauden päätyttyä oppimisympäristö jää kaikille avoimeksi oppimisympäristöksi.

Jyväskylän yliopisto teki tammikuussa 2018 haastattelututkimuksen kalatalouden, erityisesti kalanviljelyyn, parissa työskenteleville henkilöille tulevaisuuden osaamistarpeista kalanviljelysektorilla. Kevättalvella 2018 valmistui myös kartoitus Pohjoismaissa annettavasta

vesiviljelykoulutuksesta, sisältäen sekä ammatti- että korkeakoulutuksen. Kesällä 2018 yliopisto järjesti viisipäiväisen kansainvälisen kesäkoulukurssin kiertovesikasvatuksesta. Opettaja kurssilla toimi Michael B. Timmons (Cornell University), ja kurssin läpäistäkseen opiskelijoiden tuli suoriutua onnistuneesti Cornellin yliopiston RAS-kurssin e-tentistä. Opiskelijoiden koulutus vesiviljelyyn Jyväskylässä on painottunut sekä työharjoitteluun Luken Laukaan kalanviljelylaitoksella että pro gradu -tutkielmiin.

11.3. Tulokset ja niiden tarkastelu

Ammattiopisto Livia

a) Kartoitukset

Kaikille avointa ja saatavilla olevaa oppimateriaalia ei juurikaan ole, vaan oppimateriaali perustuu irrallisiin julkaisuihin sekä oppilaitosten omiin materiaaleihin. Tarve yhteiselle ja kaikille avoimelle oppimateriaalille oli olemassa. Tämän perusteella Opetushallitukseen jätettiin pyyntö verkko-oppimateriaalin tuottamisesta ja samalla aloitettiin oman verkko-oppimisympäristön suunnittelu ja rakentaminen. Verkko-oppimisympäristöksi valittiin Jyväskylän yliopiston Koulutuksen tutkimuslaitoksen hallinnoima Peda.net verkko-oppimisympäristö.

Yrityksiltä saadun tiedon mukaan työvoimatarve on lähitulevaisuudessa huomattava ollen jopa 1/3 tämänhetkisestä työvoimasta. Tämä korostaa sitä epäsuhtaa, joka esiintyy vesiviljelyalan koulutuksesta valmistuvien ja yritysten tarvitseman uuden työvoiman välillä. Koulutuksen osalta tärkeimmiksi osaamisen osa-alueiksi nähtiin ns. rutiinitöiden tekeminen sekä kalojen hyvinvoinnista huolehtiminen. Lyhyesti voidaan todeta, että vesiviljelyala kaipaa moniosaavaa työvoimaa, johon nyt olemassa olevat kalatalouden tutkintojen perusteet soveltuvat hyvin. Työn luonteen takia teoreettinen opiskelu ei kuitenkaan pysty vastaamana osaamistavoitteisiin, vaan tueksi tarvitaan huomattava määrä työssäoppimista.

b) Koulutus

Koulutuksen tueksi laadittiin laaja vesiviljelyä käsittelevä oppimisympäristö. Eritystä huomiota kohdennettiin kiertovesiviljelyyn, jossa yhdistyvät sekä perinteisen vesiviljelyn lainalaisuudet että lietteen ja vedenlaadun hallinnan erityisvaatimukset. Kiertovesiviljely on perinteistä vesiviljelyä teknisempää ja herkempää, jossa kokonaisvaltaisen osaamisen merkitys korostuu. Kokonaisuudessa oppimateriaali on erittäin laaja käsittäen kaikki oleelliset vesiviljelyn sisältämät kokonaisuudet. Materiaalin laadinnassa huomioitiin Innovaatio-ohjelman painopisteet sekä niiden eri työpaketit. Opetusmateriaalia on havainnollistettu kuvien ja videoiden kautta, ja se on kaikkien halukkaiden käytössä. Innovaatio-ohjelman päättyessä myös oppimisympäristön muokkausmahdollisuus päättyi, mutta tarvittaessa oppimisympäristö voidaan avata päivittää ja kehittää edelleen. Innovaatio-ohjelma on myös edesauttanut oppilaitosta verkostoitumaan kotimaisten vesiviljely-yritysten kanssa, mikä edelleen on edesauttanut koulutusyhteistyötä oppilaitosten, luonnonvarakeskuksen ja yritysten välillä.

Innovaatio-ohjelman edesauttama kansainvälinen verkostoituminen johti Ammattiopisto Liviaan liittymisen uuteen yhteispohjoismaiseen hankkeeseen. Tässä Innovaatio-ohjelman "Spin-off" hankkeessa vesiviljelyalan koulutusta kehitetään edelleen suomalaisten, norjalaisen, islantilaisen ja ruotsalaisen muodostamassa vesiviljelyalan verkostossa

Jyväskylän yliopisto

a) Kartoitukset

Kalanviljelyn ammattilaisille tehdyn haastattelututkimuksen mukaan kolme tärkeintä osaamis- tarvetta liittyvät kalojen terveyteen, kalankasvatukseen yleisesti sekä tutkimusosaamiseen. Muiksi tärkeiksi osaamisalueiksi osoittautuivat (tärkeysjärjestyksessä) kierto-vesiviljely, yrittä- jyyks, kalabiologia, teknologia, markkinointi, ympäristöpolitiikka, työnjohto, projektinhallinta, merikasvatus, lainsäädäntö ja mikrobiologia.

Jyväskylän yliopisto pystyy vastaamaan varsin hyvin osaan näistä esitetystä tarpeista. Kol- mesta tärkeimmästä tarpeesta varsinkin kalojen terveys ja tutkimusosaaminen ovat akvaatti- sista tieteistä valmistuneiden maistereiden osaamisaluetta, ja myös kalankasvatukseen opis- kelijamme saavat perusvalmiudet kalanviljelykursilla. Osaamistaan opiskelijat ovat voineet syventää työharjoittelussa, joka useimmiten on opiskelijoillamme painottunut tutkimuksissa avustamiseen Laukaan kalanviljelylaitoksella mutta toisinaan opiskelijat ovat saaneet harjoi- telupaikan myös kaupallisesti toimivista kalanviljely-yrityksistä. Myös osassa muissa tärkeiksi nähdyissä osaamisalueissa opiskelijat pystyvät halutessaan hankkimaan osaamista Jyväskylän yliopistossa.

Pohjoismaissa annettavasta koulutuksesta esitettiin yhtenä mahdollisuutena yhteispohjois- mainen kalanviljelykoulutus eri oppilaitosten kesken siten, että luennot annettaisiin videon välityksellä, ja mahdollisella kurssilla voisi hyvin olla opiskelijoita sekä kalanviljelylaitoksilta että oppilaitoksista.

b) Koulutus

Kansainväliselle kesäkoulukurssille osallistui 13 opiskelijaa, joista 11 oli muita kuin Suomen kansalaisia.

Hankkeen puitteissa on tuettu kuutta opiskelijaa työharjoittelun ja/tai pro gradu -työn suorit- tamisessa. Näistä on valmistunut kolme gradua ja kaksi gradua on valmistumassa kevään 2023 aikana. Näistä kuudesta gradusta viiteen on kerätty aineisto Laukaan kalanviljelylaitok- sella ja yhteen Jyväskylän yliopistolla. Kaikki gradutyöt ovat liittyneet kierto-vesikasvatukseen.

11.4. Vaikuttavuus ja jatkotoimet

Ammattiopisto Livia

Avoin oppimateriaali on tuonut helpotusta alaa vaivanneeseen oppimateriaalin puutteeseen. Nyt käytössä oleva oppimateriaali toimii koulutuksen apuna niin opettajille kuin opiskelijoille. Oppimisympäristöä käyttävät kaikki vesiviljelykoulutusta tarjoavat oppilaitokset. Myös jo alla toimivat yritykset ja henkilöt voivat halutessaan hyödyntää olemassa olevaa materiaalia esim. sisäisissä koulutuksissa. Oppimateriaalin ei kuitenkaan koskaan voida ajattelemaan olevan ns. valmis, joten oppimisympäristöä on tarpeen kehittää myös tulevaisuudessa. Tähän nyt raken- nettu verkkopohjainen materiaali sopii erinomaisesti. Opetusmateriaalia tulisi edelleen kehit- tää työpaikoilla tapahtuvaa oppimista ajatellen.

Innovaatio-ohjelman edesauttama verkostoituminen on ollut ensiarvoisen tärkeää ja sen vai- kutus näkyy tiivistyneessä yhteistyössä. Lisäksi kansainvälinen verkostoituminen on tuonut

vesiviljelykoulutukselle lisää mahdollisuuksia koulutuksen kehittämiseen. Tällä hetkellä Livia on mukana isossa nelivuotisessa Erasmus+ -hankkeessa (Bridges) ja myös uusia kansainvälisiä koulutuksen kehityshakkeita on vireillä.

Jyväskylän yliopisto

Pro gradu -töiden pohjalta on tehty kaksi kansainvälistä julkaisua ja kaikki gradut ovat saatavilla yliopiston kirjaston tietokannasta. Pohjoismaisen kalanviljelykoulutuksesta ja suomalaisen kalanviljelyn osaamistarpeista tehdyt raportit ovat saatavilla Suomen kalankasvattajaliiton sivuilla. Yliopisto jatkaa koulutusyhteistyötä Luonnonvarakeskuksen Laukaan kalanviljelylaitoksen kanssa.

11.5. Tuotokset

Livia

- Peda.net oppimisympäristö: <https://peda.net/hankkeet/vesiviljely>

Jyväskylän yliopisto

- Kalanviljelykoulutus Pohjoismaissa -raportti
<https://www.kalankasvatus.fi/an-overview-of-aquaculture-education-in-the-nordic-countries-with-special-emphasis-on-recirculating-aquaculture-systems-ras/>
- Vesiviljelyn osaamistarpeet Suomessa haastattelututkimus:
<https://www.kalankasvatus.fi/vesiviljelykoulutuksen-kehittaminen-suomessa-osaamistarpeiden-kartoitus/>
- Nikali, A. 2019. Kalojen kiertovesikasvatuksen jätevedessä kasvatettujen viherlevien soveltuvuus *Daphnia magna* -vesikirpun ravinnoksi. Pro gradu. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/65314>
- Pettersson, S. 2020. Effect of ozonation to water quality in recirculating aquaculture system. Pro gradu. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/70976>
- Luoma E. 2020. pH-puskuroinnin vaikutus kiertovesikasvatetun kirjolohen (*Oncorhynchus mykiss*) sopeutumiseen kylmään läpivirtausveteen. Pro gradu. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/71851>
- Hänninen, J. 2023. Kirjolohen, *Oncorhynchus mykiss*, siirto eri kiertovesiympäristöistä makean ja suolaisen veden olosuhteisiin. Pro gradu. Tarkastuksessa
- Nummela, H. 2023. Kalojen osittaiskiertovesikasvatuksen ravinnepäästöt ja poistoveden käsittelymenetelmät. Pro gradu. Tarkastuksessa
- Mahzarul, R. 2023. Effects of culture mode and CO₂ supply on the efficiency of *Haematococcus pluvialis* cultivation in recirculating aquaculture system's wastewater treatment. Tarkastuksessa

12. Vesiviljelyn innovaatio-ohjelman vaikuttavuus

Jouni Vielma ja Markus Kankainen (Luke)

EMKR-rahaston vaikuttavuustavoitteena vesiviljelylle oli kestävä tuotannon määrän ja arvon kasvu. Molempia tavoitteita on helppo mitata ja toimialalla tunnetaan hyvin keskeiset tekijät, jotka tuotannon määrään ja arvoon vaikuttavat. Tuotannon määrä on voimakkaasti riippuvainen ympäristöluvituksista, kun taas tuotannon arvoon vaikuttaa tuotetun määrän ohella kalan hinta. Toiminnalliseksi tavoitteeksi asetettiin uusien teknologioiden ja toimintatapojen käyttöönotto kiinnittäen erityistä huomiota taloudellisen kannattavuuteen ja markkinalähtöiseen tuotantoon. Lisäksi tavoitteena oli muodostaa vesiviljelyalan pysyvä kehittämisverkosto ja edistää erilaisten liiketoimintaekosysteemien muodostumista toimialalle. Tässä kappaleessa itsearvioimme innovaatio-ohjelman toteuttajina näiden tavoitteiden saavuttamista.

12.1. Toiminnalliset tavoitteet

Merialueella kestävä tuotannon määrän nostamista tuettiin tuottamalla tietopohjaa ympäristö- ja elinkeinotavoitteiden yhteensovittamiseksi, sillä vain yhteisesti jaettu käsitys ympäristövaikutuksista ja niiden hallitsemisesta johtaa kasvavan ympäristölupakapasiteetin (uudet tai suurentuvat luvat) myötä tuotannon määrän kasvuun. Arvioimme tämän olevan vaikuttavuustavoitteiden saavuttamisen kannalta vesiviljelyn innovaatio-ohjelman onnistunein osio, joskin viive kulutukseen päätyvään tuotantoon on pitkä ja epävarma, sillä uuden tiedon hankinta, luvitusprosessi ja lopuksi kalojen kasvatus markkinakokoon kestäisi vähintään 4–5 vuotta mikäli lupia myönnettäisiin.

Syken tieto kasvatuksen ympäristövaikutusten ennustamisesta ja havainnoinnista sekä Luken karttapohjainen suunnittelutyökalu FINFA ovat jo osoittaneet käyttökelpoisuutensa valtakunnallisessa ja alueellisessa vesiviljelyn sijainninhajauksessa sekä yksittäisten lupahakemusten käsittelyssä. Ilmatieteen laitos tuotti sijainninhajauksen suunnittelun tueksi tärkeää tietoa avomeren olosuhteista. Merikasvatuksen säätelyyn liittyvä ehdotus ravinnekuormituksen kiintiöistä ja kuormituksen allokoinnista toimialojen kesken on tarpeellinen uusi avaus, jonka viemisestä säätelykehikkoon ja myöhemmin luvitukseen pitää keskustella. Innovaatio-ohjelman tuella toimeenpannun kuormituspohjaisen luvituksen mallin mukainen ympäristölupa on jo myönnetty ja kuormituspohjainen lupa yleistyy merialueella uusien ja jatkolupien käsittelyn yhteydessä.

Avomerkasvatuksen tuotantomittakaavan teknologian kokeilut ja siirto Itämeren kasvatukseen ovat kalliita toimia yksittäisen innovaatio-ohjelman näkökulmasta, mutta potentiaali voi olla suuri, mikäli teknologiaa pystytään hyödyntämään jatkossa avoimilla merialueilla. Lisäksi kaikkein rohkeimpia kokeiluita ei syntyisi ilman julkista riskirahoitusta. Upotettavan verkkoaltaan käyttö osoitti, että Itämeren avomerialueen olosuhteet ovat sekä rakenteille että kaloille haastavat. Perinteiselle mutta järeälle lohien verkkoalaskasvatuksen tekniikalle (kehikot, ankkuroinnit, verkkoaltaat, ruokintaratkaisut) avomerialueen reunalla tulee edelleen olemaan tarvetta, jos talvehtimispaikat löytyvät kasvatuspaikan lähistöltä.

Vesiviljelyn tuotannon määrän ja arvon kasvattaminen kiertovesikasvatuksella osoittautui ohjelmakaudella ennakoitua vaikeammaksi, sillä RAS-yritysten kannattavuus ei ole parantunut odotetusti. Innovaatio-ohjelmassa tehtiin suuri määrä tuotantotekniikan ja -biologian

kokeiluita, joilla voidaan parantaa kannattavuutta ja toimintavarmuutta, mutta jotka eivät yksinään ratkaise alan haasteita. Laitosten suunnittelussa ja toteutuksessa olevia puutteita voi olla vaikea korjata jälkikäteen nopeasti ja edullisesti. Makuvirheiden analytiikan kehittäminen ja makuvirheiden poistaminen vedenkäsittelyllä, veden osittaiskierrättämisen kehitystyön aloitus, poistoveden kuormituksen hallinta hakereaktorilla ja RAS-kirjolohikannan valinnan käynnistys olivat hyödyllisiä askeleita suomalaisen RAS-kasvatuksen kehittämiseksi. Innovaatio-ohjelma laajensi ja syvensi kiertovesikasvatuksen tietopohjaa ja osaamista Suomessa, mutta sen vaikutukset näkyvät hitaasti osaavamman työvoiman, aiempaa laadukkaamman kehitystyön ja uusien innovaatioiden kautta.

Vesiviljelyn innovaatio-ohjelmassa tehtiin suuri määrä yksittäisiä toimia, joilla pyrittiin löytämään uusia kehityspolkuja vesiviljelytuotannon arvon ja määrän kasvattamiseksi. Laukaaseen edellisen rahastokauden aikana perustettu kiertovesikasvatuksen kokeilu ympäristö (10 RAS-laitoksen pienoismallia) kiinnosti vedenkäsittelyä kehittäviä yrityksiä ja kokeita suunniteltiin ja tehtiin mm. elektrokoagulaatioon, uudenlaiseen vedenlaadun anturointiin ja kavitoivaan hapatukseen liittyen, mutta töissä ei päästy pidemmälle rajalliseksi nähdyn potentiaalın vuoksi. Nelman tuominen tavallisten laitosten viljelyyn edellyttäisi steriilejä tuotantoparvia ja siihen liittyen innovaatio-ohjelma rahoitti nelman ja nelma-siika risteymän triploidien koeparvien tekemisen. Työ nelman parissa lopetettiin, sillä yrityksistä ei ole löytynyt riittävästi mielenkiintoa lajin kasvatukseen. Kuhan kasvatusta verkkoaltaissa sisältää edelleen suuria biologis-taloudellisia ongelmia. Siian tuotanto ei ole ohjelman aikana kasvanut kirjolohen hyvän markkinahinnan vuoksi.

Haasteena tällaisissa erillisissä toimissa on, että innovaatiotoiminnan panokset voivat hajaantua eivätkä ne keskity riittävästi tärkeimpien pullonkaulaongelmien ratkaisuun. Irrallisten toimien määrää vähennettiin innovaatio-ohjelmien väliarvioinnin jälkeen. Luotettavan tiedon saaminen on harvoin nopeaa ja edullista ja siksi jatkossa on tärkeää, että TKI-rahoituksen kohteet valikoidaan entistä perustellummin esimerkiksi toteutettavuusselvitysten, kannattavuuslaskentojen ja yrityshaastatteluiden avulla. Samalla pitäisi kuitenkin varmistaa, että kalojen ja tekniikan parissa tehdään koko ajan myös käytännön toimia kokemusten ja osaamisen kartuttamiseksi. Käytännönläheisyyden vastapainona voi olla syntyneen tiedon epävarmuus: oliko uudesta menetelmästä hyötyä, miksi oli tai ei ollut, toimisiko menetelmä muunlaisissa olosuhteissa paremmin. Onnistuneessa kehitystyössä systemaattinen tiedon hankinta yhdistyy tuotantomittakaavan toimintaan.

12.2. Verkostomaisen työskentelyn tavoitteet

Innovaatio-ohjelmien tavoitteena oli luoda yksittäisiä hankkeita pysyvämpi, eri toimijatahoja yhdistävä aktiivinen verkosto. Vesiviljelyn innovaatio-ohjelman suunnitelmassa vuodelta 2017 verkostoitumisen tuloksellisuutta päätettiin arvioida verkoston koon, liitännäisprojektien rahoituksen, innovatiivisuuden ja koulutuksen näkökulmasta. Jälkikäteen voidaan vielä täydentää, että hyvä näkyvyys ja viestintä ovat tärkeä osa onnistunutta verkoston toimintaa.

Verkostoon saatiin mukaan varsin kattavasti vesiviljelyn kehitystyön kannalta keskeiset sektoritutkimuslaitokset. Yliopistoista löydettiin tutkimusryhmiä, joilla oli kiertovesikasvatuksen kannalta kiinnostavaa osaamista. Merikasvatuksen aktiviteeteissa yliopistojen rooli oli pieni, joskin ympäristöohjaukseen liittyvää yhteistyötä tehtiin Helsingin yliopiston ilman, että se oli mukana ohjelman partnereina. Kaksi tärkeintä opetusta antavaa tahoa (ammattiohjelma Livia ja Jyväskylän yliopisto) saatiin mukaan, sen sijaan kalatalouden paikallisia toimintaryhmiä ei

osattu hyödyntää. Yritykset olivat mukana sekä Suomen Kalankasvattajaliiton kautta että yksittäisinä toimijoina erityisesti merikasvatuksen teknologiakokeiluissa ja kiertovesikasvatuksen liitännäishankkeissa. Merialueen koetoiminta mahdollistettiin yhteistyöllä yritysten ja ammattipiisto Livian kanssa.

Muun projektirahoituksen liittäminen vesiviljelyn innovaatio-ohjelman toimintaan onnistui varsin hyvin. Kansallisesti liitännäishankkeita rahoitettiin 3.8 miljoonalla ja kansainvälisellä tutkimusrahoituksella saatiin suomalaisille toimijoille 1.1 miljoonaa euroa. Liitännäishankkeista tarkemmin seuraavassa kappaleessa. Muiden innovaatio-ohjelmien kanssa tehty sisällöllinen yhteistyö jäi vähäiseksi, Blue Products-ohjelman kanssa tehtyä RAS-kalan makuvirheisiin liittyvää työtä ja hyljekarkoittimen kokeilua lukuun ottamatta. Luken koordinoimissa innovaatio-ohjelmissa saatiin ohjelmien välistä hallinnollista synergiaa yhteisen talouspalvelun ja sopimuspalveluiden kautta.

Vesiviljelyn innovaatio-ohjelman esitelmät on koottu kattavimmin Kalankasvattajaliiton verkkosivuille. Avoin oppimateriaali Pedanetissä on tuonut helpotusta alaa vaivanneeseen aineiston puutteeseen. Yliopistoista valmistui opiskelijoita, jotka tuntevat kiertovesikasvatuksen perusteet ja joilla on valmius kehittää alaa edelleen. Vaikka opetuksen tarve on ilmeinen ja laajalle tunnistettu, ammattipiisto Livian ja yliopistojen vesiviljelykoulutusta uhkaa pikemminkin supistuminen kuin että siihen oltaisiin panostamassa lisää.

12.3. Spin off-hankkeet

Verkostomaisen toiminnan yhtenä tavoitteena oli laajentaa rahoitus- ja osaamis pohjaa muiden kotimaisten ja ulkomaisten hankkeiden avulla. Seuraavassa on lyhyitä kuvauksia muista hankkeista, jotka liittyvät innovaatio-ohjelman aktiviteetteihin ja kumppanuuksiin.

Merialueen olosuhteiden ja kasvatuksen ympäristövaikutusten mittaamiseksi tarvittavaa laitteistoa hankittiin Suomen Akatemian FIRI-tutkimusinfrastruktuurien 245 000 euron rahoituksella. Laitteistoon kuuluu vedenlaatua mittaavia antureita sisältäviä poijuja ja liikuteltavia mittausjärjestelmiä. Laitteistoja käytettiin innovaatio-ohjelmassa erityisesti merialueen olosuhteiden ja kasvatuksen ympäristövaikutusten arvioinnissa (tämän raportin luvut 2 ja 3).

Kalavaltio-hankkeessa on selvitetty valtion yleisten vesialueiden soveltuvuutta kalankasvatukseen erityisesti niin, että voisiko valmiiksi luvitettujen Metsähallituksen kohteiden tarjonta olla yksi tapa kestävän kasvun aikaansaamiseksi. Yhtymäkohtana innovaatio-ohjelmaan Kalavaltio-hanke on käyttänyt FINFA-työkalua kasvatusalueiden löytämiseksi (tämän raportin luku 2). Rahoitus EMKR:sta on ollut yhteensä noin 0,7 milj euroa ja Metsähallituksen lisäksi mukana on ollut kaikki tärkeämmät merikasvatuksen sidosryhmät ja päättäjät. Lisäksi Kalavaltio-hankkeen jatkorahoitusta on myönnetty noin 0,4 milj euroa upotettavan teknologian edelleen kehittämiseksi.

Projekti "Uudet kiertovesi- ja läpivirtausteknologiat" sai yhtenä Sipilän hallituksen kärkihankkeista 1.9 miljoonan euron rahoituksen. Hankkeessa rakennettiin Luken Laukaan laitokselle suljetun kierron järjestelmä, johon kuuluu noin 10 tonnin vuosituotannon RAS-järjestelmä, ja siitä poistuvan veden käsittelevä passiivinen vedenkäsittelykenttä sekä lieteveden käsittelyn kontti ja näiden mittausjärjestelmiä (tämän raportin luku 7). Hankkeessa suunniteltiin myös uusia läpivirtauslaitosten kuormituksen alentamismenetelmiä kuten hapetus ja lietetaskut

yrityksissä pilotoitaviksi. Luonnonvarakeskus hankki tarvittavaa osaamista muualta (mm. Oulun yliopisto, Vapo, Pöyry Consulting, Ramboll ja Clewer Aquaculture).

Veden osittaiskierrätykseen perustuvan konttikasvatuksen kaksi hanketta ovat saaneet noin 0.6 milj euron rahoituksen (Business Finland ja EMKR). Hankkeissa on kehitetty uudenlainen vedenkäsittelyn konsepti, rakennettu konseptiin perustuen lähes pilottimittakaavan järjestelmät ja dokumentoitu kolmena kasvukautena tuotannon kannalta keskeisiä parametrejä Luken Laukaan kalanviljelylaitoksella. Innovaation esikokeita tehtiin innovaatio-ohjelman rahoituksella.

INTELLIRAS-hankkeessa kehitetään tekoälyä ja tilastollisia malleja automaattisen päätöksen kehittämiseksi, erityisesti syviin neuroverkkoihin perustuvaa konenäköjärjestelmä ruokinnan optimointiin, rehuhävikin seurantaan sekä kalojen hyvinvoinnin valvontaan. Hanke on yhteispohjoismainen NordForsk-hanke ja partnereita ovat Norwegian Veterinary Institute, Luke, Aarhusin yliopisto ja OxyGuard International AS. Hankkeen yhteistyökumppaneina toimivat Finnforel, Arvo-Tec ja Danish Salmon. Suomen osuuden budjetti on 262 000 euroa.

Projektin RAS-TOOLS päätavoite on löytää tapoja kontrolloida kiertovesilaitoksen mikrobistoa, joka vaikuttaa kalojen makuvirheiden, hiilidioksidin ja merivesilaitoksia haittaavan rikkivedyn muodostumiseen. Hanketta edelsi mm. kemiallisen ja mikrobiologisen valmiuden kehittäminen (tämän raportin luvut 6 ja 8). Yhteispohjoismaisen NordForsk-hankkeen partnereita ovat Bergenin, Aarhusin ja Kööpenhaminan yliopistot, Luke ja Norjan eläinlääketieteen laitos. Hankkeen yhteistyökumppaneina toimivat Finnforel, Arko Settefisk, ja Atlantic Sapphire. Suomen osuuden budjetti on 282 000 euroa.

Kalan laatu kiertovesikasvatuksessa-hanke kokeili hapettaviin yhdisteisiin perustuvia, makuvirheitä vähentäviä vedenkäsittelymenetelmiä suuren mittakaavan RAS-kasvatuksessa, tämän raportin kappaleessa 8 kuvatuin menetelmin. Hankkeen partnereita olivat Jyväskylän ja Helsingin yliopistot, Luke ja Finnforel. Hanke sai noin 70 000 euron EMKR-rahoituksen.

Vesiviljelyn koulutuksen kehittäminen on noussut Pohjoismaita yhdistäväksi teemaksi, sillä alan opiskelijoiden määrä on vähentynyt kaikissa maissa. Ammattiopiston Livia ja Nordic Trout lähtivät Erasmus+ ohjelman BRIDGES-hankeeseen vesiviljelyn innovaatio-ohjelman ja TEM:n järjestämän Islantiin suuntautuneen tutustumismatkan tuloksena. Hankkeessa on partnereita Islannista, Norjasta, Ruotsista ja Suomesta. Hankerahotus Suomeen on 0,5 milj. euroa vuosiksi 2020–2024.

13. Vesiviljelyn innovaatio-ohjelman hallinto ja viestintä

Jouni Vielma (Luke)

13.1. Aikataulu ja rahoitus

Verkoston toiminta oli jaettu kahteen vaiheeseen. Pohjois-Savon ELY-keskus myönsi 31.03.2017 päivätyllä päätöksellä ensimmäiseen vaiheeseen 3 000 000 euroa ajalle 09.09.2016 (hankesuunnitelman jättöpäivämäärä) - 31.12.2019. Toisen vaiheen päätöksellä vuosiksi 2020–2022 myönnettiin 2 500 000 euroa (Taulukko 3). Muutospäätöksellä hankkeen toteutusaikaa jatkettiin 30.6.2023 asti. Rahoituksesta EU:n osuus oli 41 % ja kansallinen osuus 59 %. Maksutuksissa ja tarkastuksissa noudatettiin EMKR:n hanketoiminnan käytänteitä. Ohjelman taloudellinen ja hallinnollinen loppuraportti valmistuu vuoden 2023 aikana.

Taulukko 3. Partnereiden budjetit. Luken budjetti jaettiin avomerikasvatukseen, RAS-kasvatukseen ja koordinaatioon. Lisäksi Luken osuuteen varattiin 343 000 sitomatonta rahaa muiden partnereiden ja yritysten uusiin avauksiin.

Partneri	vaihe, €	vaihe, €
Luonnonvarakeskus	2 349 061	1 708 800
Suomen ympäristökeskus	166 000	247 250
Ilmatieteen laitos	28 000	71 500
Ruokavirasto	153 600	50 000
Suomen Kalankasvattajaliitto	27 825	30 000
Jyväskylän yliopisto	166 089	177 000
Oulun yliopisto	40 500	90 000
Aalto-yliopisto	-	65 450
Livia	59 925	30 000
Metsähallitus	9 000	30 000
YHTEENSÄ	3 000 000	2 500 000

13.2. Ohjaus ja sopimukset

Vesiviljelyn innovaatio-ohjelman ohjausryhmään kuuluivat Timo Halonen (pj., MMM), Timo Takkunen (Pohjois-Savon ELY), Tarja Haaranen (2017–2019) ja Johanna Helkimo (2019–2022) (YM), Jaana Lehtimäki (Suomen Akatemia), Piia Moilanen (Business Finland), Mauno Liukkonen (Suomen Kalankasvattajaliitto) ja Asmo Honkanen (Luonnonvarakeskus). Ohjausryhmä kokoontui tyypillisesti kolmesti vuodessa.

Koska innovaatio-ohjelmien rahoitusmuoto oli uusi, Luke teki niiden toimintaa varten uudet sopimusmallit. "Partnerisopimus" sisälsi tiedot verkoston partnereista ja niiden oikeuksista ja vastuista. Lisäksi kullekin partnerille tehtiin liite, joka sisälsi suunnitelman rahoituksesta, osatöistä ja niistä odotettavissa olevista tuotoksista. Kaikille kalatalouden innovaatio-ohjelmille tehtiin partnerisopimuksen liitteeksi yhteinen "Yleiset ehdot"-dokumentti, jossa kuvattiin mm.

koordinaattorin, toimijoiden ja johtoryhmän roolit sekä rahoituksen ja immateriaalioikeuksien hallintaa.

Kaikki kalatalouden innovaatio-ohjelmat tekivät ensimmäisen vaiheen toiminnasta väliraportin ja MMM teetti väliraportteihin perustuvan arvioinnin. Sekä väliraportit että arviointi löytyvät EMKR-portaalista www.merijakalatalous.fi Arvioinnin perusteella vesiviljelyn innovaatio-ohjelmassa vähennettiin pienten irrallisten aktiviteettien osuutta, pyrittiin parantamaan viestintää, aktivoitettiin spin off-hankkeiden saamiseksi ja aloitettiin yhteistyö kalatalouden innovaatio-ohjelman Blue Products kanssa.

13.3. Viestintä

Innovaatio-ohjelmien väliarviointi nosti esiin viestinnän ongelmat. Kun viestinnän vastuutahoa ei oltu selkeästi määritetty, ohjelmien viestintä oli hajanaista. Tuloksista kuitenkin kerrottiin varsin paljon. Vesiviljelyn innovaatio-ohjelman tuloksista pidettiin noin 70 esitelmaa ja ne löytyvät verkosta mm. www.merijakalatalous.fi, www.kalankasvatus.fi sekä peda.net/hankkeet/vesiviljely. Kotimaisia raportteja ja tieteellisiä artikkeleita on tätä kirjoitettaessa valmistunut 24 ja 31 kpl. Kaksi väitöskirjaa perustuu innovaatio-ohjelman aineistoihin ja kolmas on valmisteilla. Neljännestä väitöskirjasta osa sisältää innovaatio-ohjelman aineistoa. Ohjelmassa valmistui 9 maisteritutkinnon opinnäytettä (Aalto, Oulun yliopisto ja Jyväskylän yliopistot). Lisäksi ohjelmassa valmistui videoita, opetusmateriaalia ja sijainninhjauksen suunnittelun työkalu FINFA.

Vesiviljelyn innovaatio-ohjelman tärkein viestintäkanava oli esitykset alan tilaisuuksissa, kuten kaikkien ohjelmien yhteiset kalatalouden innovaatiopäivät, Kalankasvattajaliiton järjestämät yrittäjien kesäpäivät, Ruokaviraston kalaterveyspäivät, YM:n kalankasvatuksen ympäristöpäivät sekä vesiviljelyn innovaatio-ohjelman omat webinaarit. Pienin osallistujajoukko oli yrittäjien kesäpäivillä (noin 40 kuulijaa) ja eniten Kalatalouden innovaatiopäivillä noin 250 kuulijaa. Ensimmäisten vuosien aikana innovaatiopäivillä järjestettiin eri ohjelmien rinnakkaissessioita, joista vesiviljelyn sessioon osallistui 100–120 henkilöä. Verkkotilaisuuksien mahdollisuudet kehittyivät nopeasti ohjelman aikana ja vesiviljelyn tilaisuudet keräsivät tyypillisesti yli 100 osallistujaa.



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi

