



UMPIKASVATUSHANKE

LOPPURAPORTTI

Pia Lindberg-Lumme/Growth4Blue Consulting Ky

SISÄLLYS

1.	HANKKEEN TAUSTAT JA TAVOITTEET	1
2.	TOTEUTUS	2
2.1	Messut ja tutustumismatkat.....	3
	AquaNor 20–23.8. 2019	4
	Stavanger ja Førde 2020.....	5
2.2	Käynnissä olevat hankkeet ja tutkimukset.....	7
	Ruotsi	7
	Tanska.....	8
	Skotlanti.....	10
2.3	Yhteistyö	10
3.	TEKNINEN SUUNNITELMA.....	11
3.1	Materiaalien vertailu	13
	Polyeteeni (PEH).....	13
	Lasikuidutettu muovi (GRP).....	14
	PVC-pressu	14
	Alumiini.....	14
3.2	Tekniikan investointi- ja käyttökustannukset	16
3.3	Lietteen käsittely	19

3.4 Kuormitukset ja reduktiot.....20

3.5 Ravinteiden (lietteen) talteenoton kustannukset24

4. POHDINTAA.....27

4.1 Investointi- ja käyttökustannukset28

4.2 Sijainti ja operointi30

4.3 Rahoitus.....31

5. LIITTEET33

1. HANKKEEN TAUSTAT JA TAVOITTEET

Valtioneuvosto julkaisi vuonna 2014 Vesiviljelystrategian, jonka visiona oli, että Suomessa on kilpailukykyinen ja kannustava toimintaympäristö kestävän vesiviljelyelinkeinon sekä siihen liittyvien toimialojen kasvulle ja kehitykselle. Strategian päämääränä oli toimialan kilpailukykyyn parantaminen, alan jatkuva uudistuminen sekä vesiviljelytuotannon ekologinen, taloudellinen ja sosiaalinen kestävyys. Määrällisenä mittarina oli mm. Manner-Suomen tuotannon määrä nousisi 20 miljoonaan kiloon ja tuotannon arvo ylittäisi 100 miljoonaa euroa.¹

Toistaiseksi aloitteet avomerikasvatuksen lisäämiseksi ovat olleet harvassa, eikä uusia lupia ole myönnetty merkittävässä määrin huolimatta siitä, että kalankasvatuksen kokonaiskuormitus on kuitenkin vähentynyt noin 70 prosenttia 1990-luvun alusta erityisesti parantuneiden ruokintatekniikoiden ja rehujen kehittymisen vuoksi. Kalankasvatuksen osuus Manner-Suomen ihmistoiminnoista aiheutuvasta fosforikuormituksesta on runsaan prosentin ja typpikuormituksesta runsaan puoli prosenttia.² Myöskään kiertovesilaitosten yleistyminen ei ole vauhdittunut, johtuen mm. laitosten kalliista investointikustannuksista ja heikosta kannattavuudesta³. Pintavesien uusi ekologinen tilaluokitus rajoittanee entistä enemmän myönteisien ympäristölupien saamista perinteiselle kalanviljelylle, jolloin korvaavien kasvatusjärjestelmien ja innovaatioiden merkitys kasvaa entisestään.⁴

Jotta kasvu avomerellä voidaan taata, tarvitaan rannikon suojassa sijaitsevien, perinteisten kalankasvatuslaitosten kapasiteettia poikaskasvatukselle. Ravinteiden talteenottoa kokeiltiin

¹ Valtion periaatepäätös 2014: Vesiviljelystrategia 2022 https://mmm.fi/documents/1410837/1516655/1-3-Vesiviljelystrategia_2022.pdf/89ae6a1d-9fa5-4c51-b339-35029399801f/1-3-Vesiviljelystrategia_2022.pdf

² LUKE <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/kalat-ja-kalatalous/kalanviljely/ruokakalankasvatus/>

³ LUKE: Kalan kiertovesikasvatus <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/kalat-ja-kalatalous/kalanviljely/kalan-kiertovesikasvatus/>

⁴ SYKE: PINTAVESIEN EKOLOGINEN TILA <https://www.ymparisto.fi/pintavesientila>

Suomessa 1990-luvulla ja 2000-luvun alussa ainakin Ahvenanmaalla ja Paraisilla erilaisin umpikassirakentein, mutta kehittämistyöstä luovuttiin silloisen tekniikan osoittautuessa riittämättömäksi saavutettuun hyötyyn, sekä korkeisiin investointikustannuksiin nähden. Hankkeen tavoitteena on selvittää muualla kehitteillä tai käytössä olevien umpikasvatusjärjestelmien toimivuutta, sekä kartoittaa käynnissä olevia hankkeita ja tehdä niiden pohjalta ehdotus Suomen olosuhteisiin soveltuvaksi rakenteeksi. Rakenteelle arvioidaan mahdollisimman realistiset investointi- ja käyttökustannukset. Suunnitelman lähtökohtana oli Suomen rannikon olosuhteisiin soveltuva rakenne, jossa kannattavuus ja ympäristötehokkuus menevät edellä.

2. TOTEUTUS

Hankkeen projektipäällikkönä toimi Pia Lindberg-Lumme, joka vastasi hankkeen koordinoinnista ja loppuraportin koostamisesta. Hankkeen teknisestä suunnitelmasta ja laskemista vastasi Rami Salminen. Hankehallinnosta vastasi Ukipolis Oy, joka seudullisena kehittämissyhtiönä toimi myös selvityksen tilaajana. Hankkeelle kutsuttiin asiantuntijaryhmä, joka koostui kotimaisista kalanviljelysektorin toimijoista: Margus Rebane (Heimon Kala Oy), Juha Pirilä (Mannerlohi Oy), Timo Karjalainen (Laitakarin Kala Oy), sekä Uudenkaupungin kaupungin edustajasta: Annakaarina Lamminpää, rahoittajan edustajasta: Mika Halttu (Leader- Ravakka) sekä rantarakenteisiin erikoistuneesta asiantuntijasta: Kalle Sinisalo (Blue Isle Oy), joka avusti teknisen osuuden laskelmissa, sekä rakennekuvien laatimisessa.

Asiantuntijaryhmä kokoontui hankkeen aikana kaksi kertaa. Ensimmäisessä kokouksessa päätettiin hankkeen suuntaviivoista ja tarkemmasta toteutuksesta, sekä pohdittiin mitä umpikasvatusrakenteelta vaadittaisiin Suomen merikasvatusolosuhteissa, mitä haasteita se mahdollisesti toisi tullessaan ja mihin nykypäivän kalankasvatuksessa esiintyviin ongelmakohtiin kasvatusrakenteella mahdollisesti saataisiin helpotusta. Toisessa tapaamisessa käytiin läpi Norjan tutustumismatkojen havaintoja, jonka perusteella päätettiin kohdistaa selvitystyö rannan läheisyydessä sijoittuvaan rakennelmaan ja laskea tälle investointi- ja käyttökulut. Rannan läheisyydessä sijaitsevan rakennelman ajateltiin myös olevan käytöltään riskittömin ja oletettavasti edullisin vaihtoehto ottaen huomioon käyttöenergian saamisen. Myös lietteenkeräys- ja käsittely rannassa kaikin puolin oletettiin

olevan kustannustehokkainta verrattuna avomerellä sijaitsevaan rakennelmaan. Tässä raportissa investointi- ja käyttökululaskelmia arvioitiin 100 tonnin vuotuiselle lisäkasvulle.

Hankkeessa kartoitettiin olemassa olevia umpikasvatushankkeita, sekä tutustuttiin Norjassa sijaitseviin puolisoljetunkieron (semi-closed system, SCC) rakennelmiin.

Hanketta esiteltiin kahdessa eri tilaisuudessa. Ålands Fiskodlarförening järjesti 27.2.2020 Maarianhaminassa ”Inspirationsdag för fiskodling på Åland”- tapahtuman⁵ ja Luonnonvarakeskus yhdessä Suomen Kalankasvattajaliiton kanssa ”Kalankasvatuksen Kesäpäivät”⁶ 25.8.2020 Uudessakaupungissa. Tilaisuuksissa saatua palautetta käytettiin apuna selvitystyötä tehdessä.

2.1 Messut ja tutustumismatkat

Norjassa, maailman johtavassa lohentuottajamaassa, lanseerattiin vuonna 2015 niin sanottu innovaatiolupa⁷, jonka seurauksena erilaisia umpikasvatusrakenteita uusine tekniikoineen on jo päästy kokeilemaan käytännön tasolla muutaman vuoden ajan. Innovaatiolupa velvoittaa yrityksiä antamaan avoimestikin tietoa olemassa olevista hankkeista.

Hankkeessa toteutettiin kaksi tutustumismatkaa Norjaan; ensimmäinen elokuussa 2019 Trondheimin AquaNor -vesiviljelytapahtumaan, sekä helmikuussa 2020 Stavangeriin FishGlobe -rakennelmaan ja Fården Neptun 3 -rakennelmaan tutustuen.

⁵ <https://fiskodlarna.ax/wp-content/uploads/2020/02/Pia-Lindberg-Lumme-Inspirationsdagarna-p%C3%A5-%C3%85land.pdf> [haettu 31.8.2020]

⁶ <https://www.kalankasvatus.fi/kalanviljelyn-kesapaivat-2020/> [haettu 31.8.2020]

⁷ FISKERIDIREKTORATET <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelse/Saertillatelse/Utviklingstillatelse> [viitattu 30.3.2020]

AquaNor 20–23.8. 2019

Hankkeen ensimmäinen tutustumismatka kohdistui maailman suurimmalle kalanviljelytekniologian messuille Trondheimiin. 700 näytteilleasettajan joukosta löytyi muutama puolisoljettuun- tai soljettuun kiertoon erikoistunutta yritystä (Qermaq, EcoMerden, Uponor Infra mm.). Merkittävin huomio - jos ei verrata molempien maiden kalankasvatuksen tuotantolukuja toisiinsa, oli umpikasvatusrakenteiden kehittämisen menevän ensisijaisesti lohitain torjunta edellä. Koska lietteenkeräys ei lainsäädännöllisestikään ole pakollista, ei tähän löytynyt valmista ratkaisua tai menetelmää Suomen kasvatusolosuhteita ajatellen. Lietteenkeräystä tosin mainostettiin, mutta yksikään yrityksistä ei pystynyt tarjoamaan faktatietoa puhdistustehoista tai lietteen jatkokäsittelystä.

Norjalaiset rakennelmat olivat massiivisia ja vaativat isoa kalustoa käsiteltäväkseen. Todennäköisesti suurin rakennelma oli Ecomerden AS:n *Neptun 3*, jonka kuivapaino oli yli 200 tonnia. Oleellinen havainto oli, että norjalaisten rakenteiden aallokonkestävyydelle annettiin maksimissaan vain 2,5 metriä, joka saattaa Suomen olosuhteissa olla riittävä erityisen suojaisissa paikoissa rannan- tai saariston suojassa, mutta avoimemmilla paikoilla aallokonkestävyys on riittämätön. Umpikasvatusrakenteiden hintavertailu osoittautui myös haastavaksi, koska rakennelmat valmistetaan mittatilaustyönä asiakkaiden tarpeiden ja toiveiden mukaan. Valmiita lietteenkeräysratkaisuja ei kenelläkään yrityksellä ollut esittää.



Kuva 1 FishGlobe (Kuva: Uponor Infra)

Stavanger ja Førde 2020

Matkan tarkoituksena oli tutustua FishGlobe -kasvatusjärjestelmään, jonka rakentamisesta oli vastannut Vaasalainen Uponor Infra. Kontakti Uponoriin ja Kari Karjalaiseen oli saatu AquaNor-messuilta elokuussa 2019. FishGlobe oli kasvatusjärjestelmistä ainoa, joka käytti rakennusmateriaalina PE-muovia. Materiaalia on hyvin joustavaa ja kestäväää ja sitä käytetään Suomessakin merellä kelluvien verkkoallaskehikoiden materiaalina.

FishGloben etuina olisivat siis tuttu materiaali, rakenteen yksinkertaisuus, sekä mahdollisuus lietteenkeräykseen. Samoin suomalainen yhteyshenkilö helpotti huomattavasti tiedonsaantia ja yhteistyötä.

Pyysimme ja saimme audienssin myös Aquafarm AS yritykseen Førdeen, tosin audienssi ei valitettavasti riittänyt maaliin saakka katsomaan Neptun3-rakennelmaa Mowi AS:n läheiselle laitokselle. Stavangerin ja Førden reissusta tarkemmin liitteessä 3.



Kuva 2 Neptun 3 (kuva: Fishfarmingexpert.com)

Lähes kaikki norjalaiset suljettuun- tai puolisoljettuun rakennelmaan kehitetyt rakennelmat ovat tarkoitettu post-smolttikasvatukseen, joihin kala siirretään noin 100 gramman painoisena poikaslaitoksesta. Kalan saavutettua 500–1000 gramman painon, siirretään kala jatkokasvatukseen verkkoaltaisiin. Tällä tuotantotavalla voidaan teuraspaino saavuttaa jopa 6–8 kuukautta perinteistä verkkoallaskasvatusta aiemmin, jolloin vuoteen mahtuu kaksi tuotantokiertoa ⁸.

Norjassa perinteiseen verkkokassikasvatukseen kohdistuvat ympäristöluvut ovat hyvin kalliita. Yhdellä tuotantoluvalla (780 tonnia) saavutetaan noin 1000 tonnin lisäkasvu, josta viime huutokaupassa (2018) sai maksaa noin 200 miljoonaa NOK. Suljettuun- tai puolisoljettuun rakennelmaan kohdistuvat investointikustannukset ovat korkeat, mutta tuotantoon myönnettävät edulliset kehitysluvat kompensoivat kustannuksia. Tämä niin sanottu kehitys- tai investointilupa maksaa 10 miljoonaa NOK per 780 tonnia. Samoin tuotanto verkkoallaslaitoksilla rajoitetun kasvun alueilla saa jatkaa suljetuissa- tai puolisoljetuissa rakennelmissa. Tämä selittää Norjassa viime vuosina vallinneen ”buumin” rakennelmien ympärillä.

Norjassa käytössä olevat kasvatusrakennelmat eivät sovellu tekniikaltaan ja investointikustannuksiltaan Suomen olosuhteisissa käytettäväksi. Rakennelmat on toteutettu lohityn torjuntaa ajatellen, jolloin vesi pumpataan syvältä vesikerroksista, jossa lohityä ei esiinny. Kalojen karkaaminenkin estyy luonnollisesti rakennelman ollessa umpinainen. Tuotantokapasiteetti on suunniteltu Norjan lupaehtoihin soveltuvaksi, jolloin pienimpäänkin rakennelmaan mahtuisi kokonainen suomalainen keskiverto kalanviljelylaitoksen vuosituotanto. Rakennelmat sijaitsevat suojaisissa vuonoissa, joissa aallonkorkeus harvoin kasvaa yli kahden metrin. Norjalaisen rakennelman aallokon- ja talvenkestävyys Suomessa ovat siis hyvin kyseenalaisia.

Valmiita lietteenpoistoratkaisuja ei ole saatavilla ja messuilta ja laitospöytäkirjoilta saadut kokemukset osoittautuivat ratkaisuiltaan riittämättömiksi takaamaan pienintäkään

⁸ NOFIMA: <https://nofima.no/en/nyhet/2019/03/are-closed-containment-aquaculture-the-only-solution/> [viitattu 30.3.2020]

puhdistustehoa. Koska Norjan ympäristölainsäädäntö ei velvoita käsittelemään tai ottamaan talteen kalankasvatuksesta syntyvää lietettä, ei tähän ole kehitelty vielä ainakaan järkeviä ratkaisuja. Puolisuljettuun rakennelmaan pumpattavan poistoveden käsittely vaatisi huomattavia teknisiä ratkaisuja sekä lietteen käsittelyyn, että lietteen talteenottoa varten, puhumattakaan järjestelmän investointi- ja ylläpitokustannuksista. On myös haastavaa löytää kirjallisuutta fosforin- ja typenpoistoon nimenomaan meressä tapahtuvaan kalankasvatukseen.

Vaikka arvokasta käytännön kokemusta ei vielä ole kertynyt kovin kauan aikaa ja osa suunnitelmista on vielä työpöytäversioina, kannattaa kuitenkin jäädä kuulolle ainakin lietteenpoiston ja -reduktiotulosten suhteen.

2.2 Käynnissä olevat hankkeet ja tutkimukset

Ruotsi

Uumajan maatalousyliopistolla on käynnissä oleva ”ympäristökassi” -hanke, jonka tarkoituksena on kehittää kalankasvatuksessa syntyvän lietteen talteenottojärjestelmä. Hanke on saanut EU-rahoituksen ja kuuluu tutkimus- ja innovointihankkeisiin. Hankeaika on 2014–2021. Pilottihanketta toteutetaan Strömsundissa Vattudalens Fisk AB:n laitoksella.

Verkkokassin alle asennettavalla pressusuppilolla on tarkoitus kerätä kalojen ulostetta, sekä syömätöntä rehua. Lähtökohtana on ravinteikkaan lietteen talteenotto lannoitekäyttöä ajatellen. Samalla estetään lietteen sisältämän fosforin sedimentoituminen vesistön pohjaan. Projektissa selvitetään myös lainsäädäntöön liittyviä seikkoja, jotka estävät eläinperäisen lannoitteen käytön suoraan ilman kompostointia tai mädätystä, laitteiston investointi- ja käyttökuluja, sekä arvioidaan eri kalanrehussa käytettävien raaka-aineiden vaikutusta lietteen koostumukseen. Tärkeä argumentti on myös estää ravinteiden kulkeutuminen Itämereen ja pitää ravinteet kierrossa pohjois-Ruotsin vähäravinteisissa patoaltaissa.

Kalankasvatusrakenteet tulevat norjalaiselta toimittajalta Egersund Groupilta ja lietteenkäsittelylaitteisto ruotsalaiselta NP Innovations AB:lta. (Kuva 3.)



Kuva 3: Vattudalens Fisk AB:n lietteenkeruuhankkeen sivusto, Anders Kiesling/SLU

Tietoa lietteenkäsittelystä tai lietteen puhdistusreduktiosta ei raportin kirjoitushetkellä ollut saatavilla laitteistossa esiintyneiden teknisten ongelmien vuoksi. Kokeet on tarkoitus aloittaa uudelleen toukokuussa 2020, jolloin myös laitteiston lopulliset investointi- ja käyttökustannukset selviävät⁹

Tanska

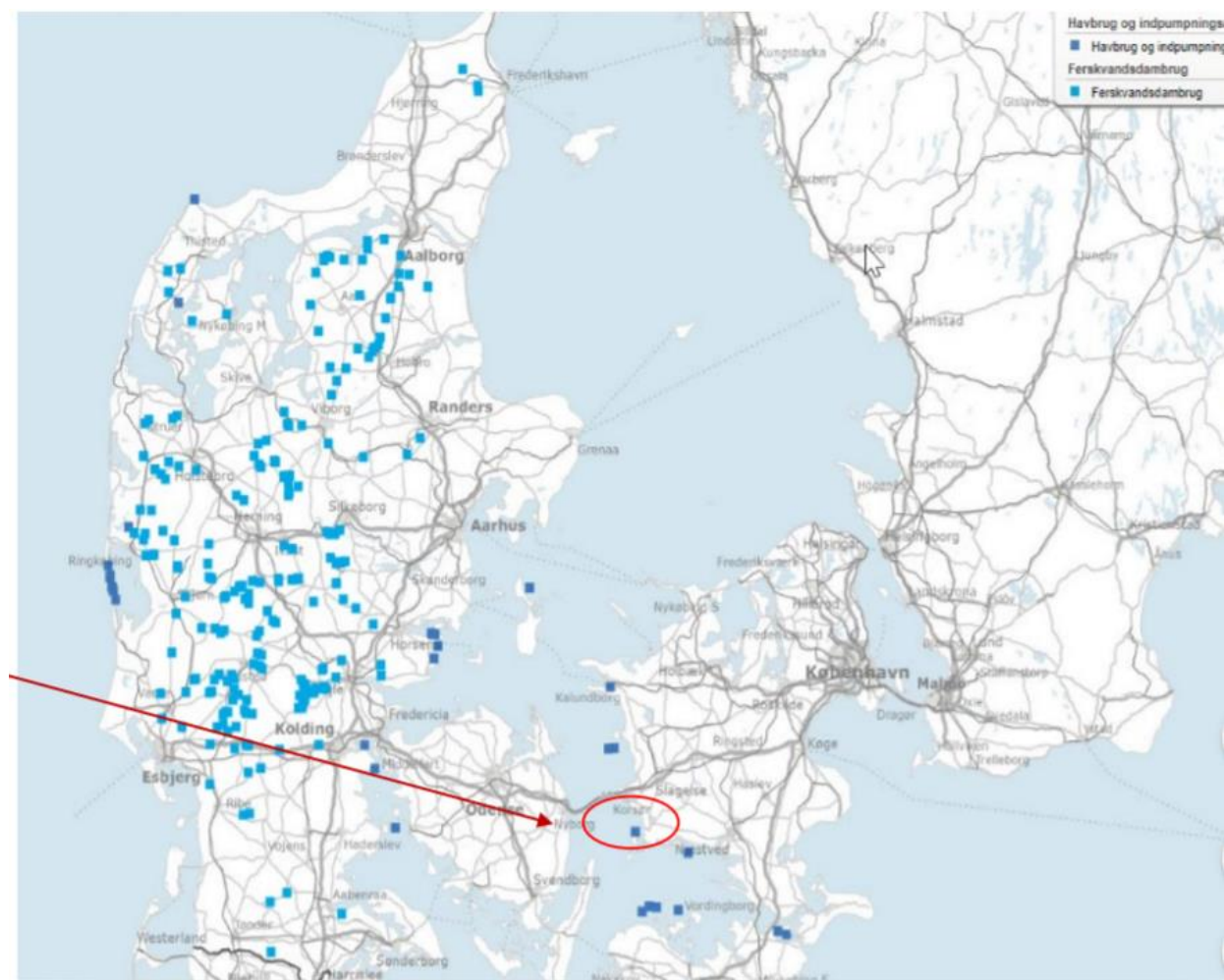
Tanskassa käynnistyneessä innovaatiohankkeessa (2019–2021) Hav-Tek- Dansk utvecklingsprojekt¹⁰ kehitetään alhaisen fosforitaseen rehua, joka osaltaan vähentää kalankasvatuksen kuormitusta. Rehusta on tarkoitusta kehittää niin kiinteää, että se ”ulos tullessaan” olisi mahdollisimman helposti kerättävissä hankkeessa kehitettävällä lietteenkeräilylaitteistolla ja mahdollisimman vähän sen sisältämistä ravinnemääristä ehtisi liueta ympäröivään veteen. Hankkeen viimeiseen vaiheeseen kuuluu puolisoljetun

⁹ Anders Kiessling (henkilökohtainen tiedonanto 30.3.2020)

¹⁰ Miljø- og fødevareministeriet <https://mst.dk/erhverv/groen-virksomhed/groent-udviklings-og-demonstrationsprogram-gudp/gudp-projekter/2019-projekter/havtek/> [haettu 2.4.2020]

kasvatusrakenteen kehittely ja testaus lietteenkeräyslaitteistoihin. Hankkeen yhteistyökumppaneita ovat: AquaPri A/S, DTU Aqua, DTU Mekanik, Dansk Akvakultur ja Hvalpsund Net.

Kuvassa ympyröitynä Agersø Havbrug kalankasvatuslaitos, jossa lietteenkeräystä on tarkoitus testata huhti-marraskuussa 2021 (Kuva 4).



Kuva 4 Testilaitoksen sijoittuminen

Skotlanti

Skotlannissa, Stirlingin yliopistossa¹¹ on analysoitu suljetun- ja puolisoljetun kasvatusjärjestelmän teknisiä ja taloudellisia edellytyksiä Atlantin lohen ja kirjolohen post-smoltin kasvattamiselle (2018). Tutkimuksessa mainitut kasvatusjärjestelmät olivat kaikki norjalaisten valmistajien rakennelmia.

Tutkimukseen sisältyi analyysi lietteenkeräys ja- prosessointijärjestelmästä 6000 kuutiometrin kasvatusjärjestelmälle, jolla 80 prosenttia kiintoaineesta saadaan talteen. Prosessi perustuu lietteen laskeutuakseen, osittain kuivaamiseen ja kuljettamalla liete edelleen kuivattavaksi maalla sijaitsevaan laitokseen, jossa kuivattu liete poltetaan energiaksi, kompostoidaan, anaerobisesti hajotetaan tai toimitetaan kaatopaikalle. Lietteiden keräys- ja käsittelymallille on tehty taloudellinen analyysi, jolloin operatiiviset kustannukset jätteiden prosessoinnista ja hävityksestä vastasivat 0,11–0,15 puntaa (noin 0,12–0,18 €*) per 1 kilo tuotettua post-smoltia (riippuen mitä hävitysprosessia käytetään). Järjestelmien pääomakustannukset on tutkimuksessa laskettu kaupallisten toimittajien antamien yksikköhintojen mukaisesti. Jätteenkäsittelyn ja -hävittämisen pääomakustannukset ovat 0,21–0,23 puntaa (noin 0,23–0,25 €) per post-smoltti. Tällöin kokonaiskustannukset lietteen ja hukkahun talteenotolle, käsittelylle ja hävittämiseksi ovat 0,32–0,36 puntaa (0,35–0,39 €) per tuotettu post-smoltti.

2.3 Yhteistyö

Hankkeen aikana tärkeäksi kontaktiksi muodostui Uponor Infra, sekä Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). Norjalainen kalankasvatusyritys FishGlobe AS oli valinnut suomalaisen Uponor Infran yhteistyökumppaniksi rakentamaan Norjan ensimmäisen ja tällä hetkellä ainoan polyeteenistä (PE) valmistetun umpikasvatusrakennelman. Kari

¹¹ SARFSP011-Technical Considerations of closed containment sea pen production for some life stages of salmonids, <http://www.sarf.org.uk/SARFSP011.pdf> [haettu 2.4.2020]

*) valuuttakurssi 27.7.2020

Karjalaiselta saatiin arvokasta ensikäden tietoa rakennelman yksityiskohdista mahdollistaen myös tutustumismatkan Stavangeriin.

Umpikasvatusrakennelman teknisiä piirustuksia hahmoteltiin karkeasti ja ne esiteltiin VTT:n Ilkka Perälälle ja pyydettiin tarjous allaskokeiden, sekä altaan sisäisen virtauksen matemaattisista mallinnuksista, sekä pienoismallin tekemisestä. VTT:n arvio alla olevassa taulukossa (Taulukko 1)

Taulukko 1. VTT:n arvio mallinnuksesta ja pienoismallista

Aaltokuormien karkea määrittäminen	10 000 €
-rakennelman hydrostaattikan ja merenkäynnistä johtuvien voimien tarkastelu	
Selvitys ankkurointijärjestelyistä ja ankkurointikuormista	5 000 €
Alustava jääkuormien tarkastelu	10 000 €
Rakenteen kestävyystarkastelu suunnitellulle rakenteelle	10 000 €
- Materiaalivahvuudet ja rakenteet	
Altaan sisäisen virtauksen tarkastelu	5 000 €
- Veden sekoittuminen, lietteen kertyminen pohjalle	
- Sisältää yhden laskentatapauksen, seuraavat optimointi tapaukset noin	3 000 €
Mallikokeet hinattavalla altaalla	30 000 €
- Valmistelut, kokeet (noin viikko) ja tulosten analysointi	

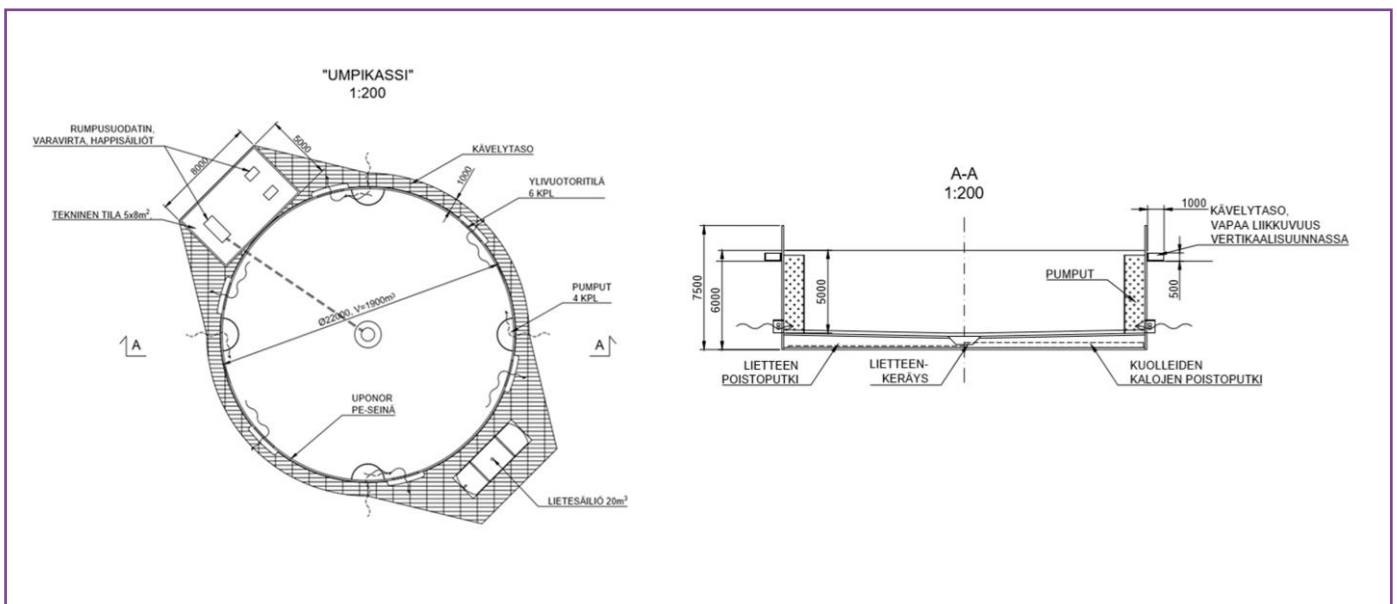
Todettiin, ettei tässä hankkeessa ole taloudellisia edellytyksiä suorittaa allaskokeita ja se jäisi mahdollisen jatkohankkeen toteutettavaksi.

3. TEKNINEN SUUNNITELMA

Hyvin nopeasti selvisi, ettei ilman matemaattista mallinnusta rakenteen kestävyydelle voitaisi antaa minkäänlaisia kestävyys- tai käytettävyyshäviöitä. Samoin tarjousten saaminen ainoastaan karkeilla teknisillä piirustuksilla osoittautui mahdottomaksi. Ainoastaan Uponor Infra oli halukas antamaan budjettitarjouksen, mutta sekin materiaalivahvuuksilla, jotka vastasivat umpinaisen norjalaisen FishGloben materiaalivahvuuksia.

Todettiin, ettei umpikasvatusjärjestelmää ole järkevää suunnitella avomerelle sen käytettävyyden sekä siihen kohdistuvien riskien kannalta (sääolosuhteet ym.). Yksi hankkeen lähtökohdista oli ympäristötehokkuus, jolloin lietteen talteenotto ja jatkokäsittely tulisi huomioida mahdollisimman hyvin. Päätettiin jatkaa suunnittelua keskittyen selvittämään erilaisia mahdollisia rakennemateriaaleja ja niiden käytettävyyttä ja kestävyyttä rannan läheisyydessä sijaitsevasta umpikasvatusrakennelmasta, joka mahdollistaisi myös lietteen talteenoton.

Teknistä piirrosta hahmotellessa päädyttiin tilavuudeltaan 1900 m³ sylinterimäiseen rakennelmaan, joka mahdollistaisi 100 tonnin lisäkasvun tuottamisen (Kuva 5.).



Kuva 5 Hahmotelma "umpikasvatusjärjestelmä", jossa mukana vedenpuhdistuslaitteisto.

Alkuperäinen hahmotelma umpikassista sisälsi teknisen tilan, jonne sijoitettiin rumpusuodatin, varavoimalaitos sekä happisäiliöt. Lisäksi rakenteessa oli myös tila lietesäiliölle. Kun umpikasvatusjärjestelmä sijoitettaisiin rannan tuntumaan, voidaan poistovedenpuhdistus, lietteenkeruun, varavoimajärjestelmä, sekä lisähapetusjärjestelmä sijoittaa maalle. Tämä tekee järjestelmästä yksinkertaisemman ja kaikin puolin kustannustehokkaamman. Tätä suunnitelmaa käytettiin lähtökohtana arvioidessa rakenteen ja lietteenkeruun, sekä lietteenkäsittelyn investointi- ja käyttökuluja.

3.1 Materiaalien vertailu

Hankkeen aikana oli jo tullut selväksi, että ilman yksityiskohtaisia rakennepiirustuksia vahvuuslaskentoihin oli mahdotonta saada tarkkaa hinta-arviota rakennelman kustannuksista. Toteutuneita hankkeita on maailmanlaajuisestikin vielä vähän ja niistäkin suurin osa Norjassa uusien innovaatiolupien myötä. Suljettuun- tai puolisoljettuun kiertoon perustuvia hankkeita ei Suomessa ole valmistunut viimeiseen 20 vuoteen. Investointi- ja käyttökustannusten arviointi, sekä rakennusmateriaalien vertailu on siten erittäin epäluotettavaa. Tämä teki myös materiaalivertailun haastavaksi. Suuntaa antava vertailu umpikasvatusjärjestelmän rakenteiden eri materiaalivaihtoehtojen kustannuksista kuitenkin suoritettiin hyödyntämällä toteutuneita ja suunnitteilla olevien kasvatusjärjestelmien saatavilla olevaa kustannusarviota ja niissä käytettyjä materiaaleja.

Uponorilta saatu hintatieto perustuu FishGloben materiaalivahvuuksista kevennetyn materiaalin neliöhintaan. Muiden materiaalien hinta perustuu valmistajilta saatuu arvioon, joka on siis suuntaa antava. Arvioidut hinnat ovat ainoastaan materiaalihintoja ilman rakennus- tai laitteistokustannuksia. Kokonaishinta arvioitiin ”umpikasvatusjärjestelmän” rakennepiirroksen perusteella. Uponor Infran valmistaman PEH-muovipaneelin saatiin hinta-arvio, mutta muiden materiaalien osalta joudutaan vertailu tekemään toteutuneiden umpikassirakenteiden kustannusarvioihin peilaten.

Polyeteeni (PEH)

Polyeteeni (PEH) on materiaaleista tunnetuin ja käytetyin kalankasvatusaltaan kehikkomateriaali. Se on kestävä ja joustava ja helposti työstettävää. Polyeteeni on materiaaleista huomattavasti pitkäikäisin. Jo aiemmin mainittu FishGlobe (halkaisija 19 m, syvyys 19, tilavuus 3500 m³) on maailman suurin ja ainoa puolisoljettuun kiertoon perustuva PEH-muovista valmistettu kalankasvatusrakennelma. Materiaali on lähes ikuinen ja voidaankin olettaa, että käyttöikä olisi vähintään 50 vuotta. Riippuen umpikassin dimensioista ja PEH-muovipaneelin ainevahvuuksista tulee PEH-muovista toteutuneelle umpikassille (ilman tekniikkaa) hintaa noin 980–1 600 €/m². Hieman kevyemmällä profiililla, tulisi 1 900 m³ (halkaisija 22 m, vesisyvyys 5 m) PEH-umpikassin hinnaksi ilman tekniikkaa noin 950 000 € (noin 1 190 €/m²).

Lasikuidutettu muovi (GRP)

GRP-lasikuitu on tuttu mm. julkisivujen materiaalina. Toteutuneita hankkeita Norjassa on Ecomerden AS:n Neptun3 (halkaisija 40 m; syvyys 22 m; tilavuus 21 000 m³), jonka kustannus tekniikan kanssa arviolta 3,7–4,5 miljoona euroa (39,5–48 miljoonaa NOK*)¹². Tällä hinta-arviolla tulee Neptun3:n umpikassin rakenteen neliöhinnaksi (tekniikan kanssa) noin 920–1 100 €/m². Mikäli 1 900 m³ (halkaisija 22 m; vesisyvyys 5 m) puolisoljettu allas valmistettaisiin GRP-lasikuidusta olisi kustannus suuruusluokaltaan noin 730 000–880 000 €.

PVC-pressu

Materiaalia on kokeiltu Suomessa 1990-luvulla ja 2000-luvun alussa hankkeissa, joissa kokeiltiin ravinteiden talteenottoa umpinaisesta kasvatusrakennelmasta. Ongelmaksi koitui rakenteen heikkous virtauksia ja sääolosuhteita vastaan. Norjassa Botngaard System on kehittänyt puolipallon muotoisen puolisoljetun kasvatusjärjestelmän (halkaisija 39,2 m; syvyys 18 m; tilavuus ~8 000 m³). Pressukassista on kuitenkin syytä huomioda, että Botngaard Systemin pressun käyttöikä on vain noin 5–10 vuotta. Hinta-arvio Botngaard Systemille on noin 1,35 miljoonaa euroa (1,44 miljoonaa NOK). Tällä kustannuksella neliöhinnaksi tulee tekniikan ja kellukerakenteen kanssa noin 610 €/m². Botngaard Systemin syvyys on noin puolet sen halkaisijasta. Mikäli 1 900 m³ kasvatusallas valmistettaisiin samojen dimensiosuhteiden mukaan, olisi halkaisija noin 16 m ja syvyys 7,5 m. Tällöin rakenteen pinta-ala on noin 370 m² ja sen kustannus suuruusluokaltaan arviolta 230 000 €.

Alumiini

Magnesiumilla seostettu alumiini haluttiin ottaa vertailuun mukaan sen yleisen soveltuvuuden kannalta. Alumiinia käytetään aluksissa ja rakenteissa, joiden on kestävä suolaisen veden aiheuttamaa korroosiorasitusta. Se on edullinen ja helposti työstettävä materiaali. Alumiinia

¹² Clarke, R., Maitland, D., & Bostock, J. (2018). Technical Considerations of closed containment sea pen production for some life stages of salmonids. A report produced by the Institute of Aquaculture, University of Stirling for the Scottish Aquaculture Research Forum (SARF)

*) valuuttakurssi 27.7.2020

on suunniteltu käytettäväksi ainakin yhdessä konseptitason umpikasvatusjärjestelmässä¹³. Tässä suunnitelmassa umpikasvatusjärjestelmä rakennettaisiin 6 millimetriä vahvasta, pysty- ja vaakajäykistetyistä alumiinianeleeista (alumiinipaneeleissa on vain yksi levytys). Pelkkien alumiinipaneelien hinnaksi arvioitiin 73 €/m², mikä vastaa suurin piirtein alumiinin kilohintaa. Kun huomioidaan, että paneelit täytyy vielä työstää kasaan, sekä mahdollisesti levyttää kaksinkertaiseksi ja että rakenteeseen täytyy lisätä kellukerakenteet, joiden kustannusta ei ole erikseen arvioitu Isungset&Bergum (2019) työssä, nousevat alumiinisen umpikasvatusrakenteen kustannukset vielä huomattavasti. Alumiinista valmistetulle umpikassille voidaan olettaa vähintäänkin sama käyttöikä kuin lasikuituiselle kasvatusaltaalle. Alumiinisen kasvatusaltaan kustannus saattaa asettua johonkin PVC-pressusta ja GRP-lasikuidusta valmistetun altaan välille, mutta tästä ei voida antaa tarkempaa kustannusarviota.

Norjassa toteutuneiden hankkeiden asiakirjat ovat pitkälti julkisia ja kokonaiskustannukset tiedetään hyvinkin tarkkaan. Niistä ei kuitenkaan voida vetää suoria johtopäätöksiä ja kustannusarvioita Suomeen soveltuvalla rakennemateriaalille. Materiaalia valitessa on pidettävä mielessä rakenteen käyttöikä, käytettävyys, sekä umpikasvatusaltaan sijainti ympäristöolosuhteineen. Avonaisemmillä alueilla umpikassirakenteen on oltava riittävän kestävä, jolloin rakennevahvuudet ja rakenteen kustannukset nousevat. Tätä puoltaa PEH:n käyttäminen rakenteen materiaalina, joka on ylivoimaisesti kallein kaikista vertailuista materiaaleista. Karkeasti arvioiden PVC-pressusta toteutetun umpikassin kustannus olisi tekniikoineen (mutta ilman vedenpuhdistusta) noin 430 000 € ja alumiinisen umpikassin hieman enemmän noin 450–500 000 €. GRP-lasikuituallas voi hyvinkin olla tekniikoineen suuruusluokkaa 730 000–880 000 €. Kalleimmalla PEH-muovisella umpikassin materiaalivaihtoehdolla olisi kokonaiskustannus noin 1 150 000 €. Kustannusarviot ovat vain suuntaa antavia, sillä ne perustuvat karkeisiin arvioihin eivätkä saatuihin tarjouksiin.

Materiaalin käyttöiässä ja kestävyudessa on hyvä huomioida, että Botngaard Systemin pressun käyttöikä on vain noin 5–10 vuotta, kun taas esimerkiksi Neptun3:n GRP-

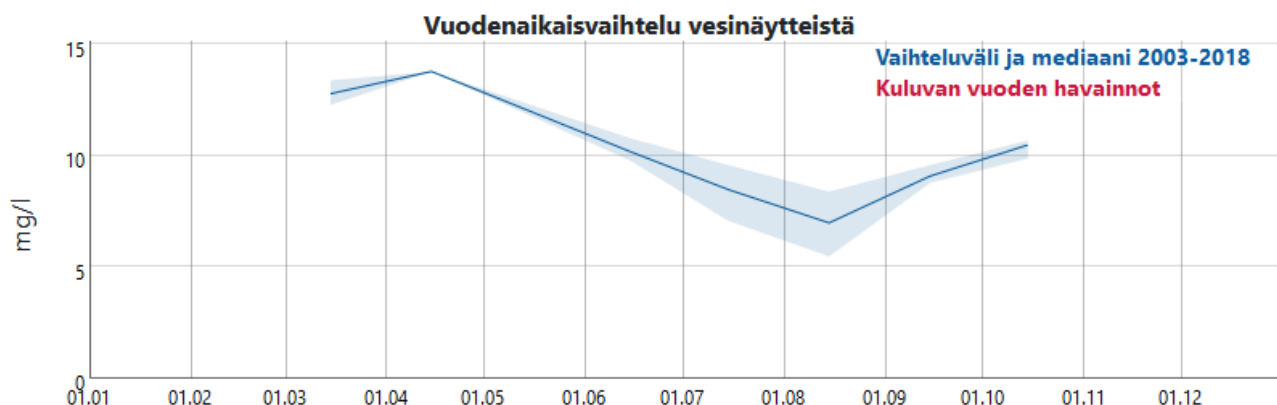
¹³ Bergum, K., S., H., & Isungset, B., V. (2019). Aluminium Concept Development of Sustainable and Modular Closed Fish Farm (Master thesis, (NTNU))

lasikuitualtaan käyttöikä on 25 vuotta (Clarke, Maitland & Bostock, 2018)¹⁰. FishGlobe:n PEH-muovin käyttöikä on vähintäänkin yhtä pitkä kuin GRP-lasikuidulla, todennäköisesti vielä paljon pidempikin.

3.2 Tekniikan investointi- ja käyttökustannukset

Umpinaisessa kasvatusaltaassa veden jatkuva pumppaus ja tarvittaessa veden lisähapetus ovat perusedellytys kalojen kasvuolosuhteille, etenkin kasvatuskauden lopussa, jolloin altaan biomassa on suurimmillaan.

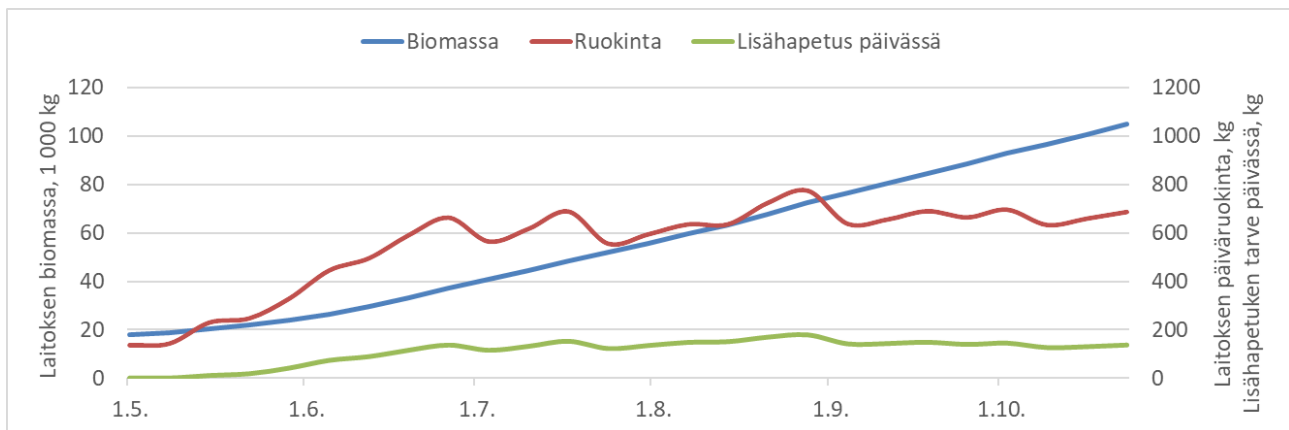
Umpinaisen kasvatusaltaan vaatima tekniikka arvioitiin perustuen oletukseen, että kaikki kasvatusaltaan vesi (1 900 m³) vaihtuu kerran tunnissa. Kasvatusaltaan lisähapetuksen tarvetta arvioitiin Rauman Rounakaran koeasemalla mitattujen veden happipitoisuuksien ja lämpötilojen perusteella (kuvaaja 1). Rounakaran koeaseman katsottiin parhaiten edustavan rannikon läheistä kasvatuspaikkaa.



Kuvaaja 1 Happipitoisuus Rounakaran asemalla Raumalla (mittaus syvyys 13 m) (https://itameri.fi/fi-fi/Itameri_nyt/Vedenlaatu/Happipitoisuus) [viitattu 1.6.2020]

Ruokintaa sekä kirjolohen kasvua umpikassissa arvioitiin Biomar EFICO Enviro 923 Advance rehun ohjeellisten ruokintaprozenttien sekä Rounakarilla mitattujen viikkolämpötilojen avulla. Rehukertoimena käytettiin arvoa 1,15. Kasvatuskauden katsottiin alkavan viikolla 18 ja päättyvän viikolla 43. Tänä aikana kalan arvioitiin kasvavan 500 gramman alkupainosta noin 2,9 kilon painoiseksi. Hapenkulutuksena käytettiin arvoa 250 grammaa happea syötettyä rehukiloa kohden ja altaasta poistuvan veden vähimmäishappipitoisuudeksi asetettiin 6

milligrammaa litrassa. Hapenkulutuksen tuntimaksimi arvioitiin jakamalla päivittäinen rehusta tuleva hapenkulutus ruokintakertojen määrällä. Jos esimerkiksi päivittäinen hapentarve ruokinnan perusteella oli 100 kiloa happea ja ruokintoja oli neljänä kertana päivässä, saavutetaan tuntimaksimi $25 \text{ kg/O}_2/\text{h}$ neljä kertaa päivän aikana. Tämä on vain suuntaa antava arvio ja tarkempaa hapentarvearviota varten olisi syytä tehdä lisätutkimuksia. Laitoksen biomassa, päivittäinen ruokinta sekä lisähapetuksen tarve on esitetty Kuvaajassa 2.



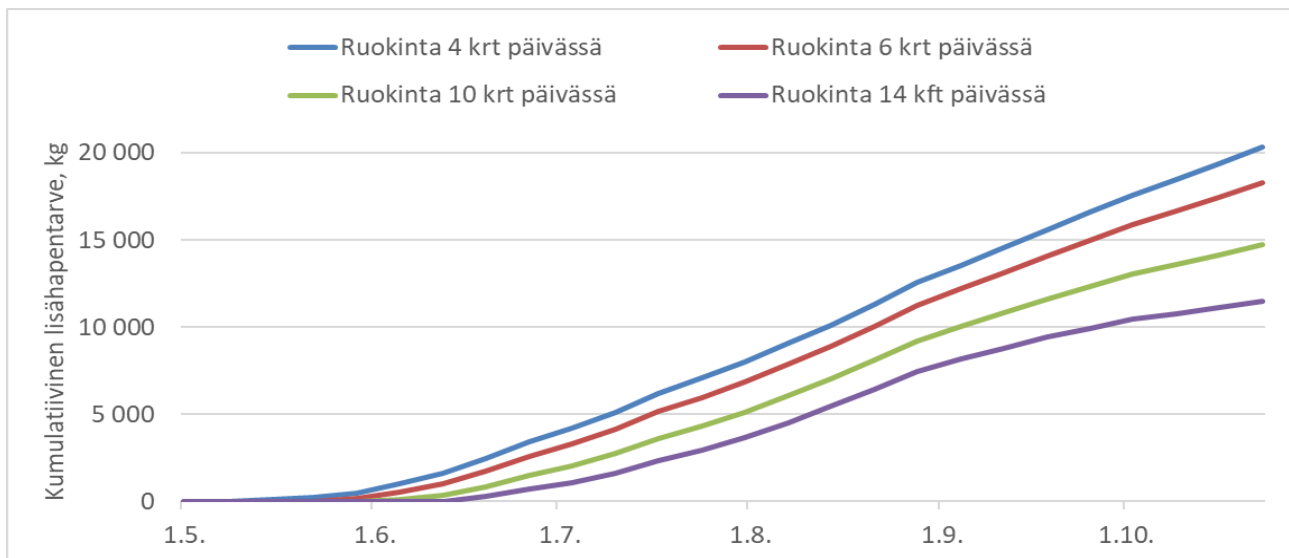
Kuvaaja 2 Arvio umpikassin biomassasta, päiväruokinnasta sekä lisähapetuksen tarve, kun ruokinta suoritetaan 4 kertaa päivässä.

Kalojen aineenvaihdunta kiihtyy ruokaillessa ja lisää hapen tarvetta, jolloin hapenkulutusk maksimi saavutetaan noin 4–6 tuntia ruokinnan jälkeen. Uintiaktiivisuuden nousu taas nostaa hapenkulutusta lähelle maksimia myös ruokinnan aikana¹⁴. Kalojen tuottama hiilidioksidi on sidoksissa hapenkulutukseen suhteessa $1 \text{ g O}_2 : 1,4 \text{ g CO}_2$ ¹⁵. Lisähapetuksen määrän pienentämiseksi sekä veteen liuenneen hiilidioksidin rajoittamiseksi on ruokintaa umpikassissa syytä jaksottaa tasaisesti koko päivän ajalle, jolloin hapenkulutusk maksimia ei saavuteta kerralla. Mikäli ruokinta suoritetaan vain yhden tai

¹⁴ Kiuru, T. (2008). Lohikalojen hapentarve, hapenkulutus ja veden hapetus- ja ilmastusmenetelmät. Esitelmä Vesiviljely- ja ympäristötekniikan koulutus. Enonkoskella 25-29.8.2008. Luoteis-Venäjän kalatalouden kehittämisohjelma.

¹⁵ Åbo Akademi: <http://web.abo.fi/instut/fisk/Fin/Miljo/co2.htm> [haettu 3.7.2020]

muutaman kerran vuorokaudessa voi hetkittäinen hapenkulutus ja hiilidioksidin tuotto nousta tasolle, joka vaarantaa kalojen kasvatusolot umpikassissa. Kuvaajassa 3 on esitetty ruokintakertojen vaikutus päivittäiseen lisähapetuksen tarpeeseen. Riippuen ruokintakertojen määrästä tarvitaan lisähappea kasvatuskauden aikana arviolta noin 12 000–20 000 kiloa. Jos nestehapen arvioidaan kustantavan noin 0,2 €/kg¹⁶, tarkoittaa tämä noin 2 400–4 000 € kustannusta vuositasona. Tämän lisäksi täytyy huomioida myös nestehappisäiliön vuokra, joka nostaa kustannuksia arviolta noin 7 000 €¹³ verran vuodessa.



Kuvaaja 3 Kumulatiivinen lisähapetuksen tarve riippuen päivittäisestä ruokintakertojen määrästä.

Tilavuudeltaan 1900 m³ umpikassin potkuripumppujen, pintavirrankehittäjien sekä automaation tehotarpeen arvioitiin olevan noin 14 kW. Kasvatuskauden kestäessä 6 kk ja energian kustantaessa 0,12 €/kWh tulee umpikassin energiakustannukseksi noin 7 500 €/kasvatuskausi. Käyttökustannukset ohella, laskennassa huomioitiin lisäksi muu tarvittava tekniikka ja rakenteet aina ruokintalaitteista laiturirakenteeseen, jolloin käyttötekniikan (ilman vedenpuhdistusta) arvioitiin kustantavan noin 201 000 € (Taulukko 1). Hinnat ovat

¹⁶ Vielma, J., Naukkarinen, M., Myyrä, R., Pulkkinen, J. & Kiuru, T. 2020. Läpivirtauslaitosten ravinnekuormituksen vähentäminen. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus xx/2020. (hankkeen raporttiluonnos).

budjettitarjouksia yleisempien laitevalmistajien maahantuojilta (2020). Nämä kustannukset pysyvät käytännössä samoina riippumatta siitä, mistä materiaalista umpikassi on tehty.

Taulukko 1 Arvio umpikassin tekniikan ja laitteiston kustannuksista ilman umpikassia.

Potkuripumput, 4kpl	42 000 €
Pintavirrankehittäjät, 4 kpl	8 000 €
Lisähapetusjärjestelmä	10 000 €
Varahapetus happikivillä, 10 keraamista hapetinta	2 000 €
Nestehappiasema	9 000 €
Happimittarit, anturit ja hälytykset	6 000 €
Sähkö-, putki- ja asennustyöt	50 000 €
Ruokintalaitteet	5 000 €
Varavoimakone	18 000 €
Laiturirakenteet	25 000 €
Umpikassin ankkurointi	20 000 €
Rehusiilo	6 000 €
Yhteensä	201 000 €

3.3 Lietteen käsittely

Kalan uloste on nestemäistä, joka hajoaa välittömästi joutuessaan veteen, jolloin ulosteen ravinteet liukenevat nopeasti vesiympäristöön. Tämä aiheuttaaakin erityisiä haasteita kalan ulosteessa olevien ravinteiden (fosforin ja typen) talteenotossa. Miten eritellä ja kerätä nopeastikin liukenevia ravinteita vedestä, varsinkin umpikasvatusaltaassa, jonne vesi pumpataan ympäröivästä merestä viipymän ollessa vain noin 30–60 minuutin luokkaa. Kiertovesikasvatuksessa ravinteiden talteenotto on paljon helpompaa, koska altaiden vesi johdetaan puhdistusprosessin kautta uudelleen altaille, jolloin saostamalla ravinteista saadaan fosforin osalta noin 80–90 prosenttia talteen ja tyydestä ilman denitrifikaatiota noin 20 prosenttia. Timmonsin (2018) mukaan, jos puhdistusprosessiin liitetään denitrifikaatiolaitteisto, nousee typen osalta reduktio 50–80 prosenttiin.

Ravinteiden talteenottoa arvioitiin umpikassille, joka sijaitsee rannan välittömässä läheisyydessä, jolloin puhdistuslaitteisto voidaan sijoittaa maalle. Puhdistukseen ohjataan umpikassin alakautta otettavaa vettä, joka toimitetaan puhdistukseen pumppaamalla

3.4 Kuormitukset ja reduktiot

Puhdistusprosessin tehokkuuden arvioinnissa käytettiin seuraavia olettamia:

- Ruokinnassa käytettävän rehun määrä 100 000 kg;
- Kasvatuskausi ajoittuu viikoille 18–43
- Rehukerroin 1,15, jolloin lisäkasvu n. 87 000 kg;
- Käytettävä rehu Biomar EFICO Enviro 923 Advance -rehua, jossa fosforia (P) 0,7 % ja typpeä (N) 6,0 %;
- Kalan lisäkasvukiloa kohden fosforia sitoutuu 2,75 % ja typpeä 0,4 %¹⁷;
- Ominaiskuormitus (rehun sisältämät ravinteet – kalan lisäkasvuun sitoutuneet ravinteet) per ruokittu rehukilo on 36,1 g fosforia sekä 3,52 g typpeä;
- Kiintoainetta syntyy 250 g syötettyä rehukiloa kohden¹⁸;
- Fosforista 80 % ja tyydestä 20 % on kiinteässä muodossa¹⁹;
- Viipymä altaassa on 1 tunti eli vettä pumpataan altaaseen noin 500 l/s;
- Tarkastellaan tilanteita, joissa alakautta poistuvan veden osuus on 10-30 %;
- Tarkastellaan tilanteita, joissa kiintoaineesta laskeutuu 50 % tai 80 % kaikesta kiintoaineesta.

Ravinteiden talteenottoa ja ominaiskuormituksen reduktiota arvioitiin kahdella erilaisella puhdistusprosessilla. Vaihtoehdossa 1 (VE1), jossa umpikassin alakautta poistettava vesi ohjataan ensin lämpöeristettyyn merikonttiin sijoitettavaan mekaaniseen suodattukseen rumpusuodattimelle (60 µm viira), minkä jälkeen rumpusuodattimen pesuvesi ohjataan samaisessa merikontissa tapahtuvaan kemialliseen saostukseen. Muu rumpusuodattimelle tuleva vesijae ohjataan biologiseen puhdistukseen. Biologinen puhdistus tapahtuu vesitiiviiseen merikonttiin rakennetussa ilmastetussa, liikkuvapetisessä bioreaktorissa (nitrifikaatio) sekä betonialtaaseen rakennetussa hakesuodattimessa (denitrifikaatio). Hakesuodattimen ja kemiallisen saostuksen kautta poistuva vesi johdetaan takaisin mereen.

¹⁷ Ympäristöministeriö 2013. Kalankasvatuksen ympäristönsuojeluohje. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2013. 75 S.

¹⁸ Timmons, M.B., Guerdat, T. & Vinci, B. J. 2018. Recirculating aquaculture (4th edition). Ithaca, NY: Ithaca Publishing Company LLC.

¹⁹ Cripps, S. J., & Bergheim, A. 2000. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. Aquacultural engineering, 22(1-2), 33-56.

Vaihtoehdossa 2 (VE2) arvioidaan tilannetta, jossa puhdistus tapahtuu pelkästään mekaanisesti, sekä kemiallisesti ilman biologista vedenpuhdistusta VE1 mukaisesti. Periaatekuva VE1:n ja VE2:n puhdistusprosessista on esitetty Liitteessä A.

Rumpusuodattimien (viira 60 µm) kiintoaineen poistotehokkuuksissa on vaihtelua eri tutkimustuloksien kesken, vaihdellen 55–85 prosentin välillä²⁰. Tässä selvitystyössä kiintoaineen poistotehokkuudeksi valittiin 70 prosenttia. Esimerkkinä voidaan mainita, että Clarke, Maitland & Bostoc (2018)¹⁰ arvioi omassa puolisoljetun kalankasvatusaltaan puhdistusprosessissa rumpusuodattimen tehokkuudeksi 95 prosenttia.

Kemiallisen saostuksen katsottiin sitovan 97 prosenttia sille tulevasta kiintoaineesta, kaikesta fosforista sekä kiinteässä muodossa olevasta typestä. Kemiallinen saostus tapahtuu koagulaatio-flokkulaatio menetelmällä. Flokin kuiva-ainepitoisuutta nostetaan nauhasuodattimella ja syntyvän lietteen kuiva-ainepitoisuuden arvioitiin olevan käsittelyn jälkeen 10 prosenttia. Esimerkiksi Timmons ym. (2018)²¹ esittävät kiintoaineen ja reaktiivisen typen saostustehokkuudeksi 98–99 prosenttia, kun käytetään koagulaatio-flokkulaatio menetelmää ja käytössä on *Hydrotech belt filter* -nauhasuodatin, jolla saavutetaan 12,6 prosentin kuiva-ainepitoisuus.

Biologisen puhdistuksen osalta arvioitiin saavutettavan 65 prosentin poistotehokkuus²² ja hakesuodattimen tehokkuus arvioitiin myös 65 prosentin tasolle²³. Bioreaktoreiden kokoa ja tilavuutta arvioitaessa käytettiin nitrifikaatiolle typenpoistonopeutena arvoa 0,2 g N/m²/päivä ja denitrifikaatiolle 8 g N/m³/päivä^{17, 24}). Hakesuodattimen poistotehokkuus 65 prosenttia on

²⁰ HELCOM FISH Correspondence Group. (2017). Nordic Council of Ministers report on Aquaculture in the Nordic countries and the BAT concept.

²¹ Timmons, M.B., Guerdat, T. & Vinci, B. J. 2018. Recirculating aquaculture (4th edition). Ithaca, NY: Ithaca Publishing Company LLC.

²² Twarowska, J. G., Westerman, P. W., & Losordo, T. M. (1997). Water treatment and waste characterization evaluation of an intensive recirculating fish production system. *Aquacultural engineering*, 16(3), 133-147.

²³ Lepine, C., Christianson, L., Sharrer, K., & Summerfelt, S. (2016). Optimizing hydraulic retention times in denitrifying woodchip bioreactors treating recirculating aquaculture system wastewater. *Journal of environmental quality*, 45(3), 813-821.

²⁴ Pulkkinen, J. (2018). Typpiyyhdisteiden hallinta kiertovesikasvatuksessa. Esitelmä Kalatalouden innovaatiopäivät 2019. Vantaalla

maltillinen, sillä esimerkiksi Polar Fish Oy:n Kankaanpään kiertovesilaitoksen velvoitetarkkailun mukaan on päästy korkeampiinkin reduktioihin.

Seuraavissa taulukoissa on esitetty, miten umpikassin pohjan kautta poistettavan veden määrä sekä vaihtoehtojen VE1:n ja VE2:n puhdistusprosessit vaikuttavat saavutettaviin ravinnereduktioihin.

Typen kokonaiskuormituksessa osalta VE1:ssä voidaan saavuttaa eri poistovesivirtauksilla ja oletetulla kiintoaineen laskeutumisella altaan pohjalle noin 12–24 prosentin reduktio (Taulukko 2).

Taulukko 2 Typen kokonaiskuormitus (kg) ja reduktio (%) eri virtaamilla ja kiintoaineen laskeutumisella, kun mukana on biologinen suodatus (VE1) ja rehunkäyttö on 100 000 kg rehua (FCR = 1,15).

TYPPI	Panos	100 000 kg rehua (FCR = 1,15) aiheuttama kuormitus 3 609 kg typpeä						
	Muuttujat	Virtaama alakautta	10 %	10 %	20 %	20 %	30 %	30 %
		Kiintoaineesta laskeutuu	50 %	80 %	50 %	80 %	50 %	80 %
	Talteenotto	Kemiallinen saostusliete, kg	270	402	294	412	319	421
		Nitrifikaatio + denitrifikaatio, kg	170	195	294	316	418	437
	Poistuva	Ylivuodon mukana, kg	2 923	2 728	2 598	2 425	2 273	2 122
		Kemiallisen rejektivesi, kg	14	18	21	24	27	30
		Hakepedistä poistuva vesi, kg	232	266	402	432	571	598
		Kokonaiskuormitus, kg	3 169	3 012	3 021	2 881	2 872	2 750
Typpikuormituksen reduktio		12 %	17 %	16 %	20 %	20 %	24 %	

Vastaavasti VE2:n puhdistusprosessissa voidaan saavuttaa noin 7–12 prosentin reduktio (Taulukko 3). Koska suurin osa typestä on liukoisessa muodossa, poistuu typestä merkittävä osuus jo altaan ylivuodon mukana, jolloin suurin osa typpikuormituksesta tässä tapauksessa valuu mereen.

Taulukko 3 Typen kokonaiskuormitus (kg) ja reduktio (%) eri virtaamilla ja kiintoaineen laskeutumisella, kun mukana ei ole biologista suodatusta (VE2) ja rehunkäyttö on 100 000 kg rehua (FCR = 1,15).

TYPPI	Panos	100 000 kg rehua (FCR = 1,15) aiheuttama kuormitus 3 609 kg typpeä					
	Muuttujat	Virtaama alakautta	10 %	10 %	20 %	20 %	30 %
		Kiintoaineesta laskeutuu	50 %	80 %	50 %	80 %	50 %
	Talteenotto	Kemiallinen saostusliete, kg	270	402	294	412	319
	Poistuva	Ylivuodon mukana, kg	2 923	2 728	2 598	2 425	2 273
		Kemiallisen rejektivesi, kg	14	18	21	24	27
		Rumpusuodattimen purkuvesi, kg	402	460	696	748	990
	Kokonaiskuormitus, kg		3 339	3 207	3 315	3 197	3 290
	Typpikuormituksen reduktio		7 %	11 %	8 %	11 %	9 %
							12 %

Fosforin osalta voidaan eri vaihtoehtojilla saavuttaa noin 30–45 prosentin reduktio (Taulukko 4). Suuri merkitys fosforin talteenoton suhteen on se, miten iso osa kiintoaineesta saadaan laskeutettua altaan pohjalle ja ohjattua mekaaniseen- ja kemialliseen puhdistukseen.

Taulukko 4 Fosforin kokonaiskuormitus ja reduktio eri virtaamilla ja kiintoaineen laskeutumisella (VE1 ja VE2), kun rehunkäyttö on 100 000 kg rehua (FCR = 1,15).

FOSFORI	Panos	100 000 kg rehua (FCR = 1,15) aiheuttama kuormitus 352 kg fosforia					
	Muuttujat	Virtaama alakautta	10 %	10 %	20 %	20 %	30 %
		Kiintoaineesta laskeutuu	50 %	80 %	50 %	80 %	50 %
	Talteenotto	Kemiallinen saostusliete, kg	105	157	115	161	125
	Poistuva	Ylivuodon mukana, kg	190	114	169	101	148
		Kemiallisen rejektivesi, kg	3	5	4	5	4
		Rumpusuodattimen purkuvesi, kg	54	76	64	85	76
	Kokonaiskuormitus, kg		247	195	237	191	227
	Fosforikuormituksen reduktio		30 %	45 %	33 %	46 %	35 %
							47 %

Riippuen virtaamasta voitaisiin kiintoaineesta saada talteen noin 35–60 prosenttia (Taulukko 5). Tässäkin merkittävimpänä muuttujana on se, kuinka suuri osa kiintoaineesta saadaan laskeutumaan altaan pohjalle ja ohjattua kemialliseen saostukseen.

Taulukko 5 Kiintoaineen kokonaiskuormitus ja reduktio eri virtaamilla ja kiintoaineen laskeutumisella (VE1 ja VE2), kun rehunkäyttö on 100 000 kg rehua (FCR = 1,15).

KIINTOAINET / LIETE	Panos	100 000 kg rehua (FCR = 1,15) aiheuttama kuormitus 25 000 kg kiintoainetta					
	Muuttujat	Virtaama alakautta	10 %	10 %	20 %	20 %	30 %
		Kiintoaineesta laskeutuu	50 %	80 %	50 %	80 %	50 %
	Talteenotto	Kemiallinen saostusliete, kg	9 336	13 920	10 185	14 259	11 034
	Poistuva	Ylivuodon mukana, kg	11 250	4 500	10 000	4 000	8 750
		Kemiallisen rejektivesi, kg	289	431	315	441	341
		Rumpusuodattimen purkuvesi, kg	4 125	6 150	4 500	6 300	4 875
	Kokonaiskuormitus, kg		15 664	11 081	14 815	10 741	13 966
	Syntynyt liete (KA 10%)		93 m ³	139 m ³	102 m ³	143 m ³	110 m ³
	Kiintoainereduktio		37 %	56 %	41 %	57 %	44 %

3.5 Ravinteiden (lietteen) talteenoton kustannukset

Ravinteiden talteenoton investointi- ja käyttökustannuksia arvioitiin molemmissa vaihtoehtoissa VE1 ja VE2, jossa VE1 sisältää biologisen suodatuksen. Umpikassin vedenpuhdistuksen investointikustannukseksi ilman biosuodatusta (VE2) muodostuu noin 128 000–143 000 euroa (Taulukko 6).

Taulukko 6 Umpikassin vedenpuhdistuksen investointikustannusten arvio, kun mukana ei ole biologista suodatusta, VE2 (rehunkäyttö 100 000 kg, FCR = 1,15).

Muuttujat	Virtaama alakautta		10 %	10 %	20 %	20 %	30 %	30 %
	Kiintoaineesta laskeutuu		50 %	80 %	50 %	80 %	50 %	80 %
Rumpusuodatin			20 000 €	20 000 €	25 000 €	25 000 €	30 000 €	30 000 €
Kemiallinen saostus			40 000 €	40 000 €	40 000 €	40 000 €	40 000 €	40 000 €
Pumput			10 000 €	10 000 €	10 000 €	10 000 €	15 000 €	15 000 €
Lämmöneristetty merikontti (rumpusuodatin + kemiallinen saostus)			8 000 €	8 000 €	8 000 €	8 000 €	8 000 €	8 000 €
Vesitiivis merikontti lietesäiliöksi			10 000 €	10 000 €	10 000 €	10 000 €	10 000 €	10 000 €
Sähkö- putki- ja asennustyöt			30 000 €	30 000 €	30 000 €	30 000 €	30 000 €	30 000 €
Sähkölaitteet			10 000 €	10 000 €	10 000 €	10 000 €	10 000 €	10 000 €
Kokonaiskustannus			128 000 €	128 000 €	133 000 €	133 000 €	143 000 €	143 000 €

Kun puhdistukseen liitetään mukaan biologinen puhdistus (VE1) nousevat investointikustannukset huomattavasti, jolloin investointien suuruudeksi tulee noin 216 000–329 000 euroa (Taulukko 7).

Taulukko 7 Umpikassin vedenpuhdistuksen investointikustannusten arvio, kun mukana on biologinen suodatus, VE1 (rehunkäyttö 100 000 kg, FCR = 1,15).

Muuttujat	Virtaama alakautta Kiintoaineesta laskeutuu	10 %	10 %	20 %	20 %	30 %	30 %
		50 %	80 %	50 %	80 %	50 %	80 %
Rumpusuodatin		20 000 €	20 000 €	25 000 €	25 000 €	30 000 €	30 000 €
Kemiallinen saostus		40 000 €	40 000 €	40 000 €	40 000 €	40 000 €	40 000 €
Pumput		10 000 €	10 000 €	10 000 €	10 000 €	15 000 €	15 000 €
Lämmöneristetty merikontti (rumpusuodatin + kemiallinen saostus)		8 000 €	8 000 €	8 000 €	8 000 €	8 000 €	8 000 €
Vesitiivis merikontti lietesäiliöksi		10 000 €	10 000 €	10 000 €	10 000 €	10 000 €	10 000 €
Bioreaktori	Vesitiivis merikontti	10 000 €	10 000 €	20 000 €	20 000 €	20 000 €	20 000 €
	Kantoaine, putkitukset ja puhaltimet	21 000 €	24 000 €	37 000 €	39 000 €	52 000 €	55 000 €
Hakesuodatin	Hakesuodattimen koko	900 m ³	1 100 m ³	1 600 m ³	1 700 m ³	2 300 m ³	2 400 m ³
	Kustannusarvio	47 000 €	56 000 €	76 000 €	78 000 €	101 000 €	102 000 €
Sähkö- putki- ja asennustyöt		50 000 €	50 000 €	50 000 €	50 000 €	50 000 €	50 000 €
Sähkölittyä		10 000 €	10 000 €	10 000 €	10 000 €	10 000 €	10 000 €
Kokonaiskustannus		216 000 €	228 000 €	276 000 €	280 000 €	326 000 €	329 000 €

Umpikassin vedenpuhdistuksen käyttökustannukset muodostuvat käytännössä energiasta, puhdistuskemikaaleista sekä lietteen hävittämisestä. Kemikaalikustannus on joitain satoja euroja vuodessa, kun taas energia- ja lietteen hävityskustannukset ovat huomattavasti suuremmat (Taulukko 8 ja Taulukko 9). Riippuen skenaariosta, muodostuu umpikassin vedenpuhdistuksen käyttökustannukseksi noin 12 000–21 000 euroa vuodessa.

Taulukko 8 Umpikassin vedenpuhdistuksen (ei sisällä umpikassin käyttökustannuksia) käytön kustannusarvio, kun mukana ei ole biologista suodatusta, VE2 (rehunkäyttö 100 000 kg, FCR = 1,15).

Muuttujat	Virtaama alakautta Kiintoaineesta laskeutuu	10 %	10 %	20 %	20 %	30 %	30 %
		50 %	80 %	50 %	80 %	50 %	80 %
Energiatarve, kW		9 kW	9 kW	11 kW	11 kW	15,5 kW	15,5 kW
Energiakustannus, 6 kk, 0,12 €/kWh		4 700 €	4 700 €	5 700 €	5 700 €	8 000 €	8 000 €
Kemikaalikustannus vuodessa		300 €	300 €	600 €	600 €	900 €	900 €
Lietemäärä, m ³		93	139	102	143	110	146
Lietteen hävityskustannus, 72 €/m ³		6 700 €	10 000 €	7 300 €	10 200 €	7 900 €	10 500 €
Yhteensä vuodessa		11 700 €	15 000 €	13 600 €	16 500 €	16 800 €	19 400 €

Taulukko 9 Umpikassin vedenpuhdistuksen (ei sisällä umpikassin käyttökustannuksia) käytön kustannusarvio, kun mukana on biologinen suodatus, VE1 (rehunkäyttö 100 000 kg, FCR = 1,15).

Muuttujat	Virtaama alakautta	10 %	10 %	20 %	20 %	30 %	30 %
	Kiintoaineesta laskeutuu	50 %	80 %	50 %	80 %	50 %	80 %
Energiatarve, kW		12 kW	12 kW	14 kW	14 kW	18,5 kW	18,5 kW
Energiakustannus, 6 kk, 0,12 €/kWh		6 200 €	6 200 €	7 300 €	7 300 €	9 600 €	9 600 €
Kemikaalikustannus vuodessa		300 €	300 €	600 €	600 €	900 €	900 €
Lietemäärä, m ³		93	139	102	143	110	146
Lietteen hävityskustannus, 72 €/m ³		6 700 €	10 000 €	7 300 €	10 200 €	7 900 €	10 500 €
Yhteensä vuodessa		13 200 €	16 500 €	15 200 €	18 100 €	18 400 €	21 000 €

Tämän selvitystyön pohjalta voidaan antaa alustavia suuruusluokkia umpikasvatusjärjestelmällä mahdollisesti saavutettavista ravinnereduktioista sekä kasvatusrakenteen investointi- ja käyttökustannuksista. Arviot ovat suuntaa antavia, sillä tarkka kustannusarvio edellyttäisi hyvinkin paikkakohtaista tietoa sijoitusalueesta sekä alueella jo olemassa olevasta tuotantoa tukevasta toiminnasta sekä infrasta. Edellä esitetyt kustannusarviot antavat kuitenkin työkaluja tulevien suunnitelmien tueksi.

Umpikasvatusjärjestelmän vuosittaiset käyttökustannukset ovat karkeasti noin 30–40 000 € vuodessa (Taulukko 10), jolloin lisäkasvukiloa kohden tuleva lisäkustannus on noin 0,33–0,45 €/kg.

Taulukko 10 Vuosittaiset lisäkäyttökustannukset umpikasvatusjärjestelmälle ja vedenpuhdistukselle.

	Min	Max
Umpikasvatusjärjestelmän energia	7 500 €	7 500 €
Vedenpuhdistus ja lietteenhävitys	12 000 €	21 000 €
Happisäiliöiden vuokra	7 000 €	7 000 €
Nestehappi	2 500 €	4 000 €
Yhteensä:	29 000 €	39 500 €
Lisäkasvukiloa kohden (lisäkasvu 87 000 kg)	0,33 €	0,45 €

Lopuksi voidaan vielä tarkastella miten PEH-materiaalista valmistetun umpikasvatusjärjestelmän investointikustannukset lisäävät tuotantokustannuksia. Lisäkasvukiloa kohden kalan tuottaminen nousee umpikasvatusrakenteeseen investoinnin myötä noin 1,8-2,1 €/kg (Taulukko 11). Kaikkinensa umpikasvatusjärjestelmä nostaa tuotantokustannuksia arviolta noin 2,1-2,6 €/kg. Tämän tuotantokustannuksen lisäksi tulee vielä esimerkiksi henkilöstön palkat, rehukustannus, poikaskustannus, perkuukustannus jne.

Taulukko 11 Investointikustannukset PEH-materiaalista valmistetulle umpikasvatusjärjestelmälle.

Investointikustannus	Min	Max
PEH, umpikasvatusjärjestelmä	946 000 €	946 000 €
Umpikasvatusjärjestelmän tekniikka	201 000 €	201 000 €
Vedenpuhdistusjärjestelmä	128 000 €	329 000 €
Yhteensä:	1 275 000 €	1 476 000 €
Investoinnin poisto, 10 vuoden poistoaika	128 000 €	148 000 €
Rahoituskustannus, 4 % korko	30 000 €	34 000 €
Lisäkasvukiloa kohden vuodessa	1,82 €	2,09 €

4. POHDINTAA

Asiantuntijaryhmän kanssa vaihdeltiin ajatuksia monista näkökulmista. Hankkeen edetessä ja laskelmien valmistuttua pohdittiin erityisesti sitä, onko poistoveden ja pintavaluman mukana kulkeutuvaa ravinnekuormaa edes mahdollista havaita mittalaittein. Jokaisella kala-alan toimijalla on kokemusta ympäristölupajärjestelmästä, jossa kritiikki kohdistuu vain ja ainoastaan ruuantuotannon aiheuttamaan ravinnekuormaan. Tämän takia keskustelua eri ruuantuotantomuotojen hiilijalanjäljestä ja tarvittavista resursseista tulisi avata, koska lupaviranomaiset ovat ”jumittuneet” kalankasvatuksen lupaprosessissa vain ja ainoastaan tuotannosta muodostuvaan ravinnekuormaan, ottamatta huomioon kuinka paljon ihmisravintoa sillä pystytään tuottamaan. Toki tämä vaatisi myös lainmuutoksia, mutta keskustelua omavaraisesta ruuantuotannosta tulee avata ja luoda edellytykset hyväksyä siitä aiheutuva paikallinen ympäristökuormitus. Kalankasvatuksesta aiheutuva ravinnekuorma on minimaalista suhteessa Itämereen kohdistuvasta taustakuormituksesta, sekä valuma-alueelta tulevasta kuormituksesta. Syytä olisi siis kiinnittää entistä enemmän huomiota ruuantuotannon hiilijalanjälkeen ja miten eri tuotantomuodot kuluttavat eri resursseja (pinta-alaa, energiaa, vesivaroja ja ravinteita) suhteessa tuotettuun proteiinimäärään.

Tämän selvitystyön laskelmien perusteella fosforin ominaiskuormasta saataisiin nipistettyä fosforin osalta ylimääräiset 7–24 prosenttia ja typen osalta 30–47 prosenttia talteen. Kyseessä on kuitenkin niin suuri investointi ja niin suuri epävarmuustekijä ympäristöluvan

suhteen, ettei investointia kannatta tehdä ainakaan ennen lupaprosessin loppuunsaattamista. Tosin jos kuluttaja olisi halukas maksamaan umpikasvatusrakenteessa kasvaneesta kirjolohesta nykyistä verkkoallaskasvatettua moninkertaisesti hinnan, saa investointi tietysti eri lähtökohdat. Tosin kiertovesikasvatetulla kalalla tätä ilmiötä ei ainakaan vielä ole saavutettu toivotulla tasolla. Tulevaisuus näyttää, meneekö eettisyys ja ekologisuus hinnan edelle ruuantuotannossa.

Hankkeessa oli tavoitteena tutkia umpikasvatusjärjestelmän mahdollisuuksia lähtökohtaisesti ympäristön kannalta kestäväenä tapana kasvattaa kalaa. Toteuttamisen haasteet löytyivät teknisissä ratkaisuissa ja toiminnan kannattavuudessa, jotka ovat varmasti ratkaistavissa, mutta vaativat lisäselvitystä niin laitteiston kuin rahoituksenkin kannalta. Mielenkiintoista olisi myös todeta käytännön kokeella, voidaanko umpikasvatusjärjestelmällä saavuttaa stabiili kasvu ympäristö ja nopeuttaa näin kalan tuotantokiertoa edesauttamalla kalojen hyvinvointia ja minimoimalla lämpötilan aiheuttamat ruokintakatkokset.

Aiheesta onkin tärkeää jatkaa kehitystyötä ja tutkimusta. Uudessakaupungissa on jo pitkään kehitetty kestäviä tapoja tuottaa ruokakalaa ja kaupungissa on halua olla asiassa edelleen edelläkävijänä.

4.1 Investointi- ja käyttökustannukset

Umpikasvatusjärjestelmän investointikustannukset ovat perinteistä verkkoallaskasvatusta huomattavasti korkeammat. Umpikasvatusjärjestelmässä muodostuu lisäksi ylimääräisiä käyttökustannuksia muun muassa tuloveden lisähapetuksesta, järjestelmien energiankulutuksesta sekä talteen kerättävän lietteen käsittelystä ja poiskuljettamisesta. Umpikassijärjestelmän operointi kohottaa tuotantokustannuksia arviolta noin 0,33–0,45 €/lisäkasvukilo, minkä lisäksi tulevat tietenkin tavallisia kalanviljelyn kulueriä kuten rehu-, poikas- ja henkilöstökustannukset.

Umpikassijärjestelmän investointikustannukseen vaikuttaa vahvasti rakenteen materiaalivalinta. Toistaiseksi maailmalla on toteutettu hyvin rajallinen määrä umpikasvatushankkeita ja tietoa kustannuksista on saatavilla tällä hetkellä vielä rajallisesti.

Karkea arvio PEH-materiaalista valmistetulle umpikasvatusjärjestelmälle (Ilman tekniikkaa) saatiin tämän projektin aikana. PEH-materiaalista valmistetun umpikasvatusjärjestelmän arvioitiin maksavan kokonaisuudessaan puhdistusjärjestelmineen noin 1,3–1,5 M€. 10 vuoden poistoajalla ja 4 prosentin korolla tämä tarkoittaa noin 1,8–2,1 € vuotuista lisäkustannusta lisäkasvukiloa kohden.

Selvitystyön loppumetreillä Luonnonvarakeskus julkaisi raportin²⁵, jossa arvioitiin kirjolohenpoikasen tuotantokustannuksen sijoittuvan kiertovesilaitoksessa, tuotantorytmistä ja investointituen suuruudesta riippuen, noin 4,75–6,15 €/kg välille. RantaRAS -konseptissa koko tuotannon tehokkuus muodostuu yhdistämällä kiertovesikasvatettu kirjolohenpoikanen avomerituotannon kanssa, jolloin kustannustehokkuus ja kannattavuus saavutetaan suurissa avomeryksiköissä verkkoaltaissa ja lopullisen teuraskalan kustannus on noin 3,5 €/kg.

Perinteiseen verkkoallaskasvatukseen verrattuna korkeat käyttö- ja investointikustannukset hankaloittavat kannattavan liiketoiminnan mahdollistamista. Ilman huomattavia investointitukia nousevat tuotantokustannukset mitä todennäköisimmin tuottajahintaa korkeammaksi, jolloin liiketoiminta jää tappiolliseksi.

Verrattaessa tuotantokustannuksia Suomessa kiertovesilaitoksessa tuotettuun kirjoloheen, voidaan tehdä vain suuntaa antavia arvioita. Tuotantolukuja ei voida suoraan verrata keskenään, koska kiertovesitekniikalla toimivat laitokset ovat tuotantokapasiteetiltaan yli 100 tonnin laitoksia ja yrityksen toimintaan sisältyy usein myös muuta liiketoimintaa. Kiertovesilaitosten tilinpäätökset kuitenkin puhuvat karua kieltään tuotannon ollessa vahvasti tappiollista - ainakin raportin kirjoittamisen hetkellä. Molempien tuotantomuotojen elinehto on kuitenkin sama: energian keskeytymätön saatavuus ja puhdistuslaitteistojen tehokkuus.

²⁵ 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.

4.2 Sijainti ja operointi

Rakennelman on sijoitettava rannan tuntumassa riskien minimoimiseksi. Kovat myrskyt saattavat aiheuttaa laite- ja rakennerikkoja sekä hankaloittaa rakenteelle pääsyä. Kova aallokko ja myrskyn jälkimainingit vaikeuttavat jo normaalien verkkoallasrakenteissa kasvatettavien kalojen ruokintaa, jolloin menetetään arvokasta lisäkasvua. Energian keskeytyksetön saaminen on riskittömämpää rannan tuntumassa, koska energiaa saadaan suoraan sähköverkosta ja varageneraattorit voidaan sijoittaa rannalle suojaan. Veden hapetus voidaan toteuttaa johtamalla happi linjastoa pitkin rakennelmaan maalla sijaitsevalta generaattorilta tai nestehappisäiliöstä. Lietteen pumppaaminen suoraan maalla sijaitsevaan säiliöön ja siitä jatkokäsittelyyn on vaivattomampaa ja kustannustehokkaampaa, kuin vastaavasti avomerellä.

Rehusäiliöt ja ruokintatekniikka voidaan sijoittaa rannalle, jolloin ruokinta voi tapahtua automatiikalla rannasta käsin. Ulkomerellä rakenteisiin täytyy sijoittaa tilaa rehun varastointiin, joka vastaavasti nostaa rakenteen kustannuksia. Ajaminen avomerelle nostaa ruokintaan kohdistuvia kustannuksia ja saattaa vaatia investoinnin ruokinta- ja työalukseen.

Ravinteiden talteenotto on mahdollista korkealla reduktiolla, jos kaikki poispumpattava vesi johdettaisiin puhdistusjärjestelmän kautta. Tämä tarkoittaisi arvioidun pohjapoistuman nostamista 10–30 prosentista 100 prosenttiin, joka ei käytännössä ole mahdollista. Toki veden viipymää voidaan laskea, mutta se vaatii hapetukselle ja ilmastukselle investointeja, jotka eivät ole järkevässä suhteessa tuotettuun kalamäärään nähden.

Haasteita tulee varmasti olemaan sovittaa rantojen eri toiminnot yhteen, jos umpikasvusrakennetta aletaan käytännössä toteuttamaan rannan tuntumaan. Rantojen käytölle on paineita myös monen muun toiminnon osalta ja sen toteuttaminen saattaa vaatia kaavamuutoksen.

4.3 Rahoitus

Euroopan meri- ja kalatalousrahaston Suomen toimintaohjelmassa²⁶ on tällä kaudella (2014–2020) toteutettu innovaatorahoitusta, joka on kohdennettu tutkimukseen ja tuotekehitykseen. Tätä rahaa ei siis ole voinut käyttää suoraan investointiin. Mutta, jos investointihanke on liittynyt innovaation tutkimukseen, on tällaisiin ollut mahdollista saada korotettua investointitukea. Normaali investointituki tuottaviin investointeihin kalankasvatuksessa on ollut 40 prosenttia, ja korotettuna on muutamassa tapauksessa ollut 49 prosenttia.

Nyt kun edessä on ohjelmakauden vaihto, ei raportin kirjoitushetkellä ole vielä tietoa millaisia investointitukia vesiviljelyyn kohdistetaan lähitulevaisuudessa. Tosin EU:n asetusesitys lähtee siitä, ettei vesiviljelyä tuettaisi lainkaan. Esitys on vuodelta 2018 ja sitä ei ole käsitelty sen koommin. Vastustus tähän vesiviljelyn tukematta jättämiseen on kuitenkin suuri, joten toiveita on, että tukia kohdistettaisiin myös vesiviljelyyn.

Innovaatorahoituksella koelaitoksia voisi käytännössä rakentaa vain Luonnonvarakeskus (Luke), mutta operaattorina heillä olisi mahdollista olla kaupallisia toimijoita. Jos aiemmin mainittu esitys vuodelta 2018 menee läpi, niin rahoitusta kohdennettaisiin vain tutkimuslaitoksille, ei yrityksille.

Rahoitusvaihtoehtoista Business Finlandin Co-Innovation²⁷ voisi soveltua parhaiten yrityksille, jos umpikasvatus-rakennelmaa lähdetäisiin toteuttamaan mahdollisessa jatkohankkeessa. Hankkeen osapuolina voi tällöin toimia useita tutkimusorganisaatioita, sekä useita yrityksiä. Yrityksillä voi olla eri rooleja: niillä voi olla oma t&k-projekti tai ne voivat toimia tutkimuksen rahoittajana tai toisen yrityksen projektin alihankkijana. Rahoitusosuus olisi 40–50 prosenttia, johon on mahdollisuus saada vielä reilusti lisää, jos hanke olisi julkinen tutkimushanke.

²⁶ <https://merijakalatalous.fi/tuen-hakeminen/> [haettu 14.8.2020]

²⁷ <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/yritysten-ja-tutkimusorganisaatioiden-yhteistyö/co-innovation/> [haettu 30.4.2020]

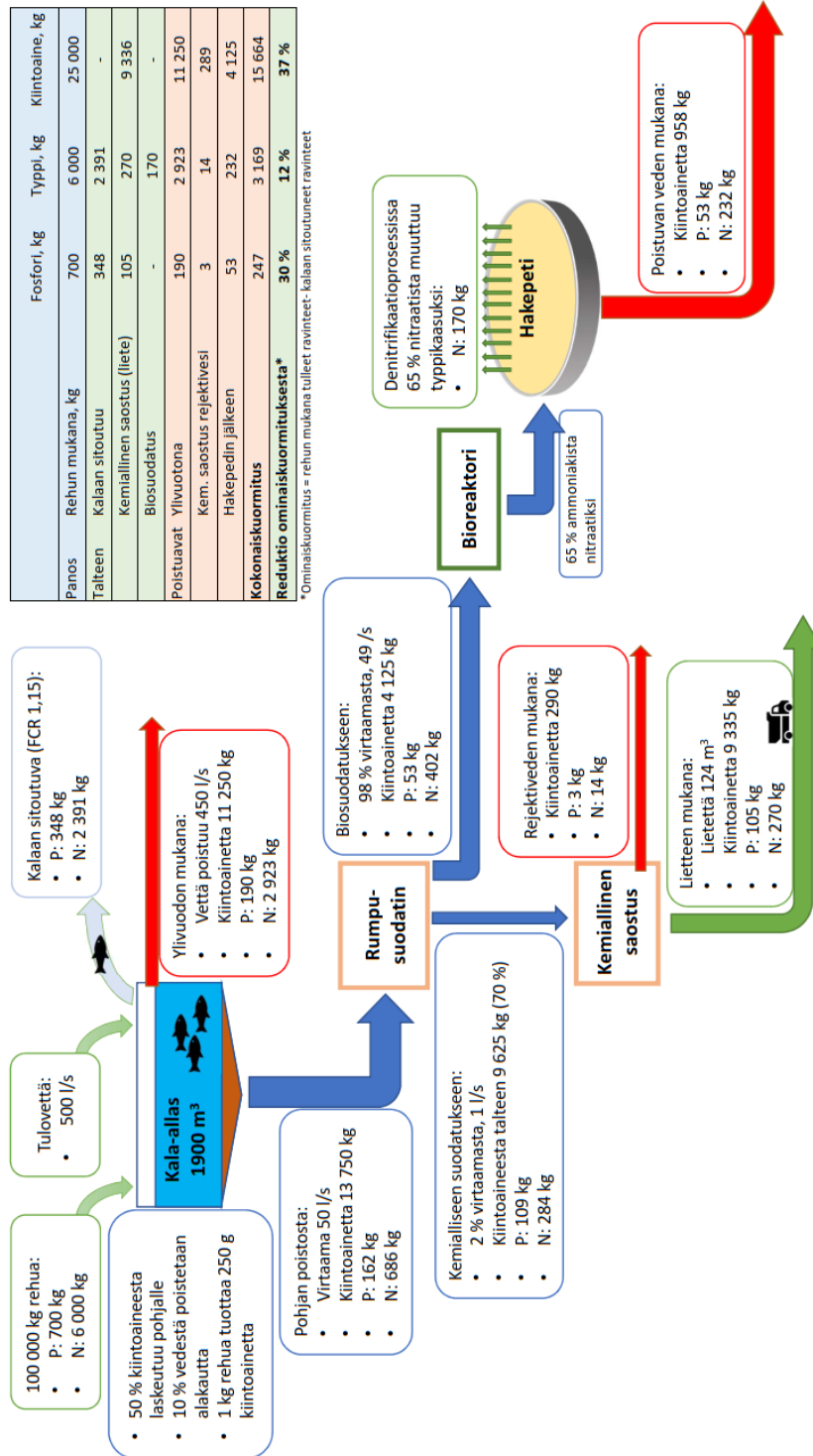
5. LIITTEET

LIITE A: Ravinteiden talteenoton prosessikuvaus puolisuljetusta järjestelmästä, kun vesi puhdistetaan mekaanisesti, kemiallisesti ja biologisesti.

LIITE B: Ravinteiden talteenoton prosessikuvaus puolisuljetusta järjestelmästä, kun vesi puhdistetaan mekaanisesti ja kemiallisesti.

LIITE C: Umpikassirakennelman tekninen piirros

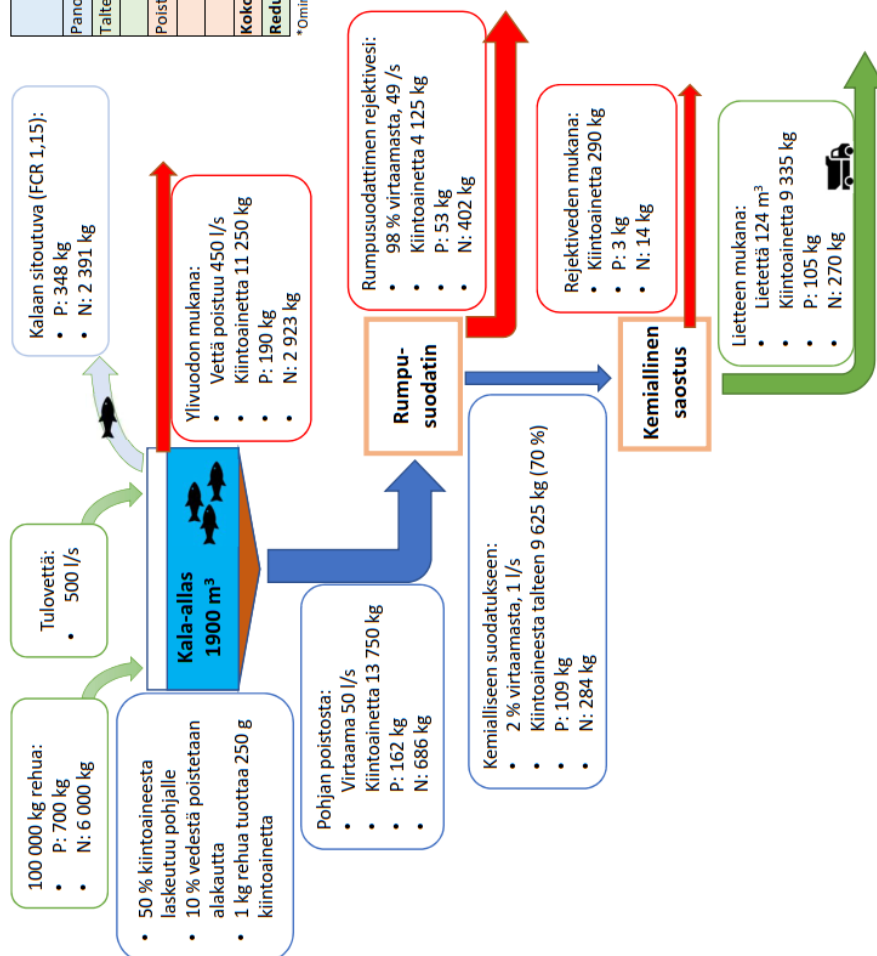
LIITE A. Ravinteiden talteenoton prosessikuvaus puolisoljetusta järjestelmästä, kun vesi puhdistetaan mekaanisesti, kemiallisesti ja biologisesti (10 % altaan vedestä poistetaan pohjan kautta ja 50 % kiintoaineesta laskeutuu.



LIITE B. Ravinteiden talteenoton prosessikuvaus puolisoljetusta järjestelmästä, kun vesi puhdistetaan mekaanisesti ja kemiallisesti (10 % altaan vedestä poistetaan pohjan kautta ja 50 % kiintoaineesta laskeutuu.

	Panos	Rehun mukana, kg	Fosfori, kg	Typpi, kg	Kiintoaine, kg
Talteen			700	6 000	25 000
Kalaan sitoutuu		348	2 391		-
Kemiallinen saostus (liete)		105	270		9 336
Poistuvat Ylivuotona		190	2 923		11 250
Kem. saostus rejektivesi		3	14		289
Rumpusuodattimen purkuvesi		53	402		4 125
Kokonaiskuormitus		247	3 339		15 664
Reduktio ominaiskuormituksesta*			30 %	7 %	37 %

*Ominaiskuormitus = rehun mukana tulleet ravinteet- kalaan sitoutuneet ravinteet



LIITE C. Havainnekuva ”Umpikassista”

