

2025

Ravinteita kierrättävä sisävesikalankasvatus

RASI-HANKKEEN LOPPURAPORTTI
PARAS AQUA JA NILAKKALOHI





Tiivistelmä

Ravinteita kierrättävä sisävesikalankasvatus hankkeessa (Rasi) kehitettiin ravinteita kierrättävää sisävesikalankasvatusta investoimalla Nilakkalohen uuteen osittaiskiertovesilaitokseen ravinteita talteenottava järjestelmä sekä tutkimalla lietteen hyötykäyttöä, typen talteenottoa ja kuormituksen vaikutuksia vesistöihin. Hankkeen tulokset osoittivat, että tehokas kiintoaineen talteenotto ja Itämeriperäisten raaka-aineiden käyttö voivat tehdä sisävesikasvatuksesta Itämeren näkökulmasta ravinteiden nettopoistajan, samalla kun vaikutukset alapuolisiin vesistöihin jäävät vähäisiksi. Kalalietteellä havaittiin olevan potentiaalia orgaanisena fosforilannoitteena, vaikka sen hyödyntämistä rajoittavat nykyiset lainsäädännölliset vaatimukset. Typen talteenottoon ei löytynyt teknisesti ja taloudellisesti toimivaa ratkaisua, mutta hankkeessa luotu kiertotalousmalli ja investoinnit tukevat ympäristöystävällisen kotimaisen kalantuotannon kasvua, alueellista elinvoimaa ja ravinnekiertojen tehostamista. Hankkeen tulokset tukevat Suomen ravinnekierrätyksen, huoltovarmuuden ja vähäpäästöisen kotimaisen proteiinituotannon strategisia tavoitteita.



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

VN/19627/2024. Ympäristöministeriö on avustanut hanketta 349 268 eurolla Ahti-ohjelmasta. Ahti-ohjelman tavoite on saada ravinnekuormitus kuriin, maan rakenne kuntoon, haitta-aineet hallintaan sekä resurssit talteen ja käyttöön.



Sisällys

Tiivistelmä	1
1. Hankkeen tausta ja tavoitteet	3
2. Hankkeen toteutus.....	5
2.1. Investointiosio	5
2.2. Tutkimus- ja kehitysosio	5
2.2.1. Lietteän hyötykäyttö	5
2.2.2. Typen talteenotto.....	5
2.2.3. Kuormituksen mallinnus.....	6
3. Hankkeen tulokset.....	6
3.1 Investointi.....	6
3.2. Lietteen hyötykäyttö	7
3.2.1. Kokeet	7
3.2.2. Lainsäädäntö.....	8
3.3 Typen talteenotto	9
3.4. Kuormituksen mallinnus.....	10
4. Hankkeen vaikutukset	12
4.1. Ravinteiden kierrätys ja ravinnepäästöt	12
4.2. Talous- ja työllisyysvaikutukset	13
5. Hankkeen viestintä ja talous.....	13
6. Yhteenveto.....	13
Lähdeluettelo	14



1. Hankkeen tausta ja tavoitteet

Kotimaisen kalan kulutus on viime vuosina ollut noin 30–35 % kalan kulutuksesta. Kotimaiselle kalalle on kysyntää ja kalankasvatus on resurssitehokas tapa tuottaa terveellistä ja ympäristöystävällistä eläinproteiinia, sillä vaihtolämpöinen kala on muita tuotantoeläimiä tehokkaampi ravinnon käyttäjä. Siitäkin huolimatta kalan kasvuun sitoutuu vain noin 50–60 % rehun sisältämästä typestä ja fosforista ja loput erittyvät veteen. Kalan erittämästä fosforista pääosa on ulosteessa eli kiintoaineeseen sitoutuneena, kun taas typestä kalat erittävät suurimman osan kidusten kautta liukoisena ammoniumtyyppinä. Kalankasvatuksen päästöjen osuus ihmistoiminnan päästöistä on pieni mutta paikallisesti päästöillä voi olla vaikutusta lähialueen vesialueisiin. Suomessa kalankasvatuksen fosforipäästöt ovat kokonaisuudessaan noin 2 % ja typpipäästöt noin 1 % ihmistoiminnan päästöistä (Ympäristöministeriö 2020). Kalankasvatuksen ominaiskuormitus on typen osalta ollut noin 40 kg ja fosforin osalta noin 4 kg tuotettua tonnia kohden ja se on vähentynyt fosforin osalta noin neljännekseen ja typen osalta noin kolmannekseen huippuvuosista (Ympäristöministeriö 2020).

Perinteisessä verkkokassikasvatuksessa sekä kiintoaineeseen sitoutuneet että liukoiset ravinteet päätyvät suoraan vesistöön. Myös läpivirtauslaitoksissa vettä käytetään paljon ja laitosrakenteet ovat yleensä sellaisia, ettei veteen päätyneiden ravinteiden merkittävä talteenotto tai poisto ole taloudellisesti mahdollista (Vielma ym. 2020). Kaloille optimaalinen rehu ja ruokinta sekä hyvä vedenlaadun ylläpito ovat ainoita kustannustehokkaita ratkaisuita läpivirtauslaitosten kuormituksen pienentämiseen (Vielma ym. 2020). Kiertovesikasvatuksessa kiintoaineeseen sitoutuneet ravinteet saadaan suurelta osin poistettua vedestä, mutta kemialliseen saostukseen perustuva lietteenkäsittely heikentää samalla olennaisesti ravinteiden hyödyntämismahdollisuuksia. Liette saostetaan tyypillisesti alumiini- tai rautapohjaisilla yhdisteillä, joiden pitoisuudet voivat olla saostetussa lietteessä kasveille haitallisella tasolla. Tämän lisäksi fosfori on sitoutunut tiukasti metalliyhdisteisiin, jolloin sen käyttökelpoisuus kasveille on heikentynyt.

Paras Aqua on kehittänyt vettä vähän käyttävän osittaiskiertoteknologian, jossa ei käytetä biologista suodatusta ammoniumtyypen muuttamiseen nitraatiksi. Teknologiassa yhdistyy sekä läpivirtausteknologian että kiertovesitekologian parhaita puolia. Osittaiskiertoteknologialla vähennetään täyteen kiertovesitekologiaan verrattuna korkeita käyttö- ja investointikuluja mutta mahdollistetaan silti lämpötilakontrollointi ja ravinteiden talteenotto. Teknologiaa on kehitetty ja tutkittu Luonnonvarakeskuksen Laukaan tutkimusyksikössä. Hellävarainen ja lähellä syntypaikkaa tapahtuva lietteen talteenotto mahdollista tehokkaan, ravinteita sitovan lietteen tiivistyksen, jossa ravinteet ovat kasveille käyttökelpoisessa muodossa.

Koska osittaiskiertovesikasvatuksessa ei käytetä biologista suodatusta, pysyy kalojen erittämä typpi ammoniakkinä, joka veden alhaisen pH:n takia esiintyy vedessä ammonium-ionina. Tämän seurauksena osittaiskiertokasvatuksen typen poistaminen tai talteenottaminen eroaa kalojen kiertovesikasvatuksesta, jossa typpi on poistovedessä nitraattimuodossa. Koska typpi on ammoniumina, voidaan se erottaa selektiivisesti esimerkiksi ioninvaihtotekniikoilla. Ammoniumtyypen hallinta tarjoaa mahdollisuuden kehittää uudenlaisia ravinteiden talteenottomenetelmiä, joita voidaan hyödyntää sekä intensiivisessä kalantuotannossa että maatalouden ravinnekiertojen tehostamisessa. Toisaalta myös typen biologinen poistaminen on mahdollista mutta vaatii ensin ammoniumin hapettamisen nitraatiksi ja edelleen pelkistämisen typpikaasuksi.

Ravinteita kierrättävä sisävesikalankasvatus (Rasi) hankkeessa Nilakkalohi investoi ravinteita talteenottavan järjestelmän uudelle kalankasvatulaitokselle, joka käyttää intensiivistä lämpötilakontrolloitua osittaiskiertovesitekniikkaa. Hankkeen tutkimusosiossa mallinnetaan



kalankasvatustalouden kuormituksen vaikutus alapuolisiin vesistöalueisiin aina Itämerelle saakka (SYKE). Tämän lisäksi selvitetään kerätyn kalalietteen käyttökelpoisuus lannoitteena nurmiviljelyssä (Luke). Tehokkaan ravinteiden talteenoton ja kompensoivien toimien myötä sisävesien kalankasvatuksesta voi tulla Itämeren näkökulmasta ravinteiden nettopoistaja ja lannoitteiden tuottaja. Hankkeen toimijat muodostavat ravinteiden kierrätyksen toimintakokonaisuuden (Kuva 1), jossa silakan sisältämiä ravinteita poistetaan Itämerestä (paikalliset kalastajat) ja niistä valmistetaan kalajauhoa ja rehua (Alltech Fennoaqua). Itämerirehulla kasvatetaan kaloja sisävesistöissä (Nilakkalohi) ja talteen otetut ravinteet käytetään lannoitteena lihatilan nurmiviljelyssä (Suppuniemen tila). Toimintamalli yhdistää ensimmäistä kertaa Itämerirehun käytön sisävesikasvatukseen ja ravinteiden palauttamisen peltoviljelyyn, mikä luo suljetun ravinnekierron. Ravinteiden kierrättämisen lisäksi hankkeen tavoitteena on alentaa sisävesikasvatuksen ominaiskuormitusta merkittävästi. Toimintakokonaisuudella parannetaan resurssiviisasta, kotimaan raaka-aineisiin ja tuotantoon pohjautuvaa ruuantuotantoa. Kalankasvatuksen toimintaedellytysten parantuessa ruuantuotannon hiilijalanjälki pienenee sekä huoltovarmuus ja omavaraisuus paranevat. Hanke toteutettiin 28.6.2024–30.11.2025 välisenä aikana.



Kuva 1. Hankkeessa luodaan toimintakokonaisuus, jossa Itämeren ravinteet kulkeutuvat kalatuotannon ketjussa paikallisesti lannoitekäyttöön.



2. Hankkeen toteutus

2.1. Investointiosio

Hankkeen investointiosiossa hankittiin Nilakkalohelle uuteen osittaiskiertovesilaitokseen ravinteita tiivistävä ja talteenottava järjestelmä. Koska osittaiskiertovesilaitoksen investointi venyi alkuperäisestä suunnitelmasta, päästiin ravinteita talteenottavaa järjestelmää investoimaan vasta hankkeen loppupuolella vuoden 2025 syys-marraskuun aikana. Järjestelmän toimitti Paras Aqua Oy.

Hankkeessa myös investoitiin ulos lietesäiliö kalalietteen varastointia ja hyötykäytön edistämistä varten. Lietesäiliön avulla saadaan erityisesti talvikuukausina varastoitua lietettä jatkokäyttöä varten. Lietesäiliön rakensi TVH Maanrakennus- ja koneurakointi Oy ja se tehtiin kesän ja syksyn 2025 aikana.

2.2. Tutkimus- ja kehitysosio

2.2.1. Lietteen hyötykäyttö

Luonnonvarakeskus tutki lietteen hyötykäyttöä peltoviljelyssä. Laboratorioanalyysien avulla määritettiin vesiviljelylietteen kiintoaine-, ravinne- ja raskasmetallipitoisuudet. Tämän lisäksi lietteen hygieenistä laatua arvioitiin määrittämällä *Escherichia coli* -bakteerien ja salmonellan määrät. Fosforin käyttökelpoisuutta ja liukoisuutta selvitettiin Hedleyn fraktiointimenetelmällä, jossa fosforifraktioiden biologinen käyttökelpoisuus alenee uuttoprosessin edetessä. Tämän lisäksi Luonnonvarakeskuksen Maaningan koeasemalla toteutettiin astiakoe, jonka avulla arvioitiin vesiviljelylietteen ravinteiden, etenkin fosforin käyttökelpoisuutta lannoitteena nurmiviljelyssä. Astiakoe toteutettiin kasvihuoneessa fosforiköyhällä kivennäismaalajilla siten, että fosforin osalta saatiin esille satovaste. Koekasvina toimi Italianraiheinä (*Lolium multiflorum*). Astioista korjattiin satoa kolme kertaa kokeen aikana, ja korjatusta kasviaineksestä määritettiin kuiva-ainesato sekä laadullisia tekijät (säilörehun raaka-aineanalyysi, kivennäisanalyysi) sekä kuiva-ainesadon perusteella laskettiin kasvin fosforinotto.

Alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen lietteen hyötykäytön analyysit jouduttiin tekemään Luonnonvarakeskuksen Laukaan kalanviljelyjärjestelmän lietteellä, koska Nilakkalohen osittaiskiertovesilaitos ei olisi ehtinyt valmistua ennen hankkeen päättymistä. Analyysit tehtiin kuiva-ainepitoisuuteen pohjautuen, jotta niitä voidaan jatkossa verrata osittaiskiertovesilaitoksesta kerättyyn lietteeseen.

2.2.2. Typen talteenotto

Ammoniumtypen talteenottoon lähdettiin hakemaan soveltuvia menetelmiä kirjallisuuden ja kotimaisten yritysten kanssa. Selvityksessä oli mukana mm. NPHarvestin uusi membraaniteknologia, Weeefinerin 4D ravinnesieppari, Hemkan aktivoitu biohiili sekä zeoliittien sitominen.

Hankkeessa oli tarkoitus pilotoida typen talteenottoon sopivaa ratkaisua osittaiskiertovesilaitoksen poistovesijakeelle. Investoinnin viivästyessä varasuunnitelmana valmistauduttiin tekemään pilotointi Luonnonvarakeskuksen osittaiskiertojärjestelmässä. Koska esiselvityksen perusteella kustannustehokkaita ratkaisuja laimean ammoniumtypen talteenottoon ei löydetty, ei pilotointiin edetty. Tässä tilanteessa ei nähty järkeväksi edetä pilotointiin ratkaisun kanssa, jota ei kuitenkaan tultaisiin ottamaan käyttöön kustannussyistä, joten typen talteenoton osio pienehti suunnitellusta. Hankesuunnitelmaa jouduttiin näin ollen muuttamaan ja hankkeen budjettia pienentämään muutosesityksen kautta.



2.2.3. Kuormituksen mallinnus

Suomen Ympäristökeskus (Syke) mallinsi kalankasvatuksen ravinnekuormituksen ja sen vaikutuksen Nilakkalohen alapuolisiin vesialueisiin aina Itämerelle asti. Työ toteutettiin Syken Vesistömallijärjestelmän WSFS-Vemala-mallilla. Kohdelaitoksen päästöt simuloitiin kolmella eri skenaariolla: nykytuotanto + 250 tn Paras-laitos (nykyisen ympäristöluvan mahdollistama 1000 kg fosforikuormitus), nykytuotanto + 500 tn Paras-laitos (kuormitusluvan lisääminen, yhteensä 1340 kg P) ja nykytuotanto + 1000 tn Paras-laitos (kuormitusluvan lisääminen, yhteensä 1680 kg P). Kuormitus arvioitiin sekä tasaisena (joka päivä sama rehunkäyttö) että vaihtuvana kuormituksena (kolme tuotantoerää vuodessa). Laskelmissa tarkasteltiin kokonaisfosforin ja kokonaistypen kuormia ja pitoisuuksia laitoksen alapuolisessa vesistössä sekä arvioitiin kuormituksen vaikutuksia vedenlaatuun ja pintavesien tilan luokitukseen. Simuloinneissa arvioitiin muutosta verrattuna nykytilaan ja simulointi tehtiin seuraavalle 30-vuodelle korjattuna keskimääräisellä ilmastoskenaariolla (RCP 4.5A). Vemala-malli kalibroitiin ja korjattiin, jotta hydrologinen laskenta ja ravinnekuormituslaskenta vastasivat mahdollisimman hyvin lähimpiä luotettavia vedenlaadun havaintoasemia.

Kuormituksen mallinnuksen lisäksi hankkeessa oli tarkoitus todentaa uuden osittaiskiertovesilaitoksen kuormitus ja korjata tarvittaessa mallinnuksen lähtötietoja. Kuormituksen todentamista ei kuitenkaan ehditty hankkeessa tehdä investoinnin viivästymisen vuoksi.

3. Hankkeen tulokset

3.1 Investointi

Hankkeessa skaalattiin ja optimoitiin ravinteita talteenottava järjestelmä perustuen Luonnonvarakeskuksessa tehtyyn osittaiskiertovesikasvatuksen poistovesien käsittelyn tutkimukseen. Järjestelmässä kiintoaine otetaan talteen heti altaasta poistuttuaan osittaiskiertoon räätelöidyillä pystyselkeyttimillä. Pystyselkeyttimissä laskeutunut liete pumpataan hellävaraisella peristalttisella pumpulla jatkotiiivistysyksikköön vähintään päivittäin, jotta kiintoaineeseen sitoutuneet ravinteet eivät ehdi liukenemaan. Jatkotiiivistysyksikössä lietteen kuiva-ainepitoisuus nousee 7–10 % tasolle, josta se pumpataan edelleen hellävaraisesti ulkona olevaan varastosäiliöön (Kuva 2).

Lietteen pumppaamisesta huolehtii Paras Aquan kehittämä automaatiojärjestelmä, jossa lieteantureiden perusteella saadaan vain tiivistetty lietevesi pumpattua, jolloin lietteen kuiva-ainepitoisuus saadaan pidettyä korkeana. Järjestelmää päästään testaamaan alkutalvesta 2026.



Kuva 2. Hankkeessa investointiin Nilakkalohelle mm. lietesäiliö kalalietteen varastointia ja jatkokäyttöä varten.

3.2. Lietteen hyötykäyttö

3.2.1. Kokeet

Kuiva-ainepitoisuuden suhteutettuna kalalietteessä oli 3 % fosforia ja 10 % typpeä (Taulukko 1). Suurin osa kalojen erittämästä fosforista oli happoliukoista ja epäorgaanisessa muodossa (Taulukko 2). Tällöin myös fosforin liukeneminen luonnossa on hidasta. Hiiltä lietteessä oli noin 47 % kuiva-aineesta ja hiili-typpisuhde oli 4,7 (C:N), hiili-fosforisuhde 15,6 (C:P) sekä typpi-fosforisuhde 3,3 (N:P).

Taulukko 1. Kerätyn lietteen ravinnepitoisuudet kuiva-ainemäärää kohden.

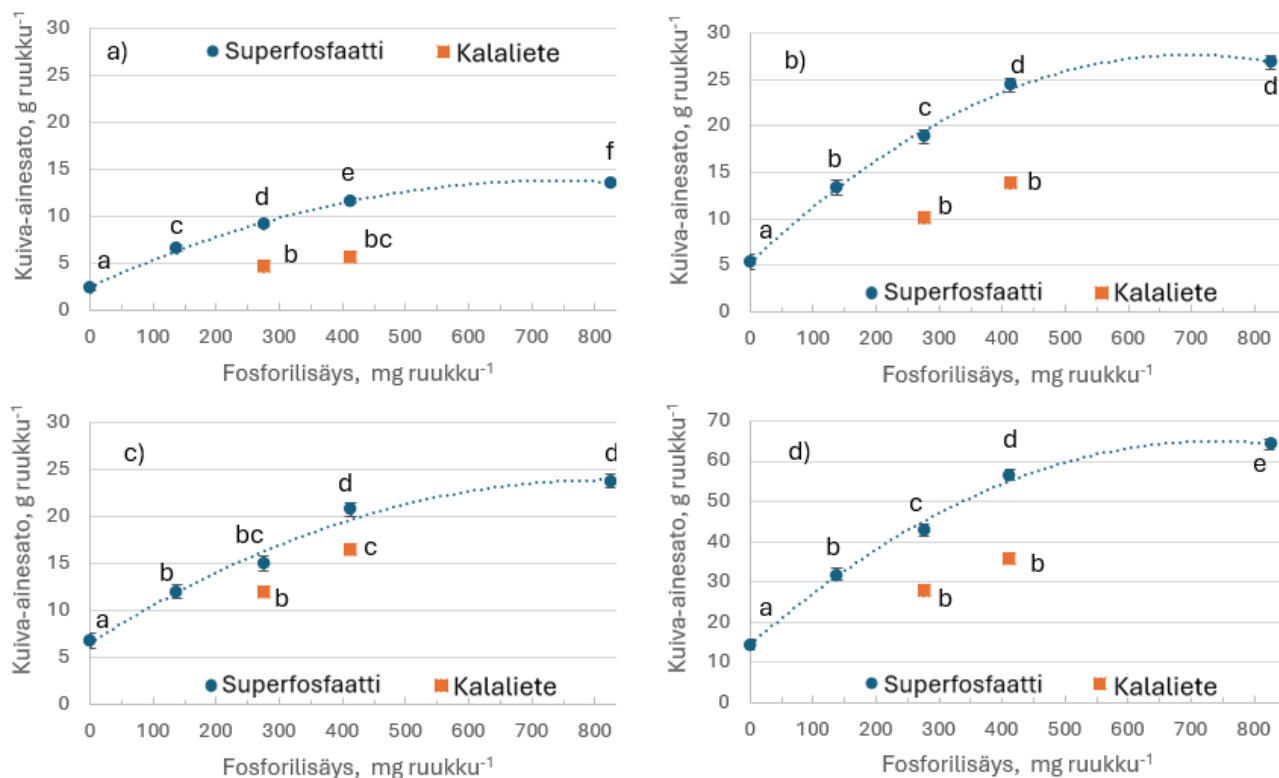
	Liukoinen N	Kokonais-N	P	K	Ca	Mg	S
g kg⁻¹ TS	10.7 (±1.4)	100 (±0.7)	30 (±2.8)	11.3 (±2.4)	66 (±5.7)	4.2 (±0.42)	4.55 (±0.11)

Taulukko 2. Fosforin (P) epäorgaaniset (Pi) ja orgaaniset (Po) fraktiot ja niiden osuudet kokonaisfosforista tutkitussa kalalietteessä. Arvot ovat keskiarvoja kuiva-aineeseen suhteutettuna (±SD; n = 3). Taulukkoa alaspäin mentäessä fosforin liukeneminen pienenee.

Fraktio	mg kg ⁻¹ KA	Osuus (%)
H ₂ O-P _i (4 h)	3 674 (±96)	17,0
H ₂ O-P _o (4 h)	328 (±41)	1,5
H ₂ O-P _i (16 h)	1 099 (±40)	5,1
H ₂ O-P _o (16 h)	23 (±19)	0,1
NaHCO ₃ -P _i	880 (±17)	4,1
NaHCO ₃ -P _o	109 (±8.9)	0,5
NaOH-P _i	682 (±42)	3,1
NaOH-P _o	934 (±77)	4,3
HCl-P _i	13 916 (±193)	64,3



Astiakokeen perusteella satovaste kalalietteellä ei ollut yhtä hyvä kuin kivennäislannoitteella (Kuva 3). Kokeen edetessä satovaste kuitenkin parani suhteessa kivennäislannoitteeseen. Tulokset vahvistavat aiempien tutkimusten havainnot, joiden mukaan suurin osa kalalietteen fosforista on happoliukoista, minkä vuoksi kasvien välitön fosforin saatavuus ja raiheinän fosforinotto ruukkukasvitutkimuksessa oli rajoitettua. Tämä onkin suurin ero naudanalietteeseen, jossa fosfori on pääosin orgaanisessa, kasveille heti käyttökelpoisessa muodossa. Kalalietteessä fosfori on kuitenkin pidempään kasveille käytettävissä eikä omaa niin suurta huuhtoutumisriskiä.



Kuva 3. Kuiva-ainesadot a) ensimmäisessä, b) toisessa ja c) kolmannessa sadonkorjuussa, sekä d) kolmen sadon yhteenlaskettu kokonaissaanto. Eri kirjaimilla merkityt arvot eroavat tilastollisesti merkittävästi toisistaan. Virhepalkit ovat keskiarvojen standardipoikkeamia (SEM).

Tulokset osoittavat, että kalalietteellä on potentiaalia vaihtoehtoisena orgaanisena fosforilannoitteena happamissa maaperissä yhdessä riittävän typpilisän kanssa. On kuitenkin tarpeen kehittää kalalietteestä johdettuja kierrätyslannoitteita erilaisilla käsittelyprosesseilla, jotta saadaan esimerkiksi tuote, jonka ravinnekoostumus on tasapainoisempi suhteessa viljelykasvien tarpeisiin ja jota voidaan levittää tavanomaisilla levittimillä. Lisäksi kalalietteen muiden kasvien makro- ja hivenaineiden kasvien saatavuus ja lannoitusteho tulisi tutkia maatalous- ja puutarhanhoitosovelluksissa. Kalalietteen kestäväen agronomisen käytön optimoimiseksi ja edistämiseksi tarvitaan myös pidempiaikaisia ruukkukokeita ja kenttäkokeita.

3.2.2. Lainsäädäntö

Suomessa lannoitteiden valmistusta ja markkinoille saattamista säätelee kansallinen lainsäädäntö sekä EU:n lannoiteasetus (EU 2019/1009). Sivutuotelainsäädännön (517/2015) perusteella kalaliete ei rinnastu kotieläinten lantaan vaan se on rajattu asetuksen ulkopuolelle. Kalankasvatuksen lietteet luokitellaan vesieläimistä peräisin oleviin sivutuotteisiin, jolloin ne kuuluvat sivutuoteluokkaan 3, joka on pienimmän riskin ja kevyimmän käsittelyn vaativa luokka. Sivutuotteille hyväksyttäviä käsittelymenetelmiä ovat mm. kompostointi ja biokaasutus. Ruokaviraston ylläpitämän listan



lannoitevalmistuksessa käytettävistä ainesosista kalanviljelylaitosten lietteet ovat ainesosaluokissa 3 (komposti) ja 4 (mädäte). Tuotetoimintaluokissa komposti ja biokaasun mädätysjäännös voidaan luokitella orgaanisiksi lannoitteiksi, orgaanis-mineraalisiksi lannoitteiksi tai orgaanisiksi maanparannusaineiksi.

Analysoidun kalalietteen hygienialaatu täytti patogeenien enimmäisraja-arvot (*E. coli* <10 CFU ml⁻¹ ja *Salmonella* spp. ei havaittu 25 ml:ssa), eikä kalarehusta lähtöisin olevien raskasmetallien pitoisuudet ylittäneet sallittuja rajoja (EU 2019/1009; MMMa 964/2023). Näin ollen materiaali täyttäisi turvallisuusvaatimukset ja liete soveltuu hyvin jatkojalostuksen raaka-aineeksi. Sen sijaan nestemäisen orgaanisen lannoitteen vaadittuja vähimmäispitoisuuksia (N, P, K) kalaliete ei saavuttanut. EU:n lannoiteasetuksen mukaan nestemäisen orgaanisen lannoitteen on sisällettävä vähintään 2 % N, 1 % P ja 2 % K (tai yhteensä vähintään 3 %, jos lannoitteella ilmoitetaan useampi ravinne). Maanparannusaineille asetetut hiili- ja kuiva-ainevaatimukset (kiinteille vähintään 15 % kuiva-ainetta ja 7,5 % orgaanista hiiltä; nestemäisille vähintään 2 % orgaanista hiiltä tai 0,2 % primaarisia ravinteita) täytyvät osittain, mutta eivät välttämättä mahdollista luokittelua orgaaniseksi lannoitteeksi. Ravinnepitoisuuksien perusteella lietteen kuiva-ainepitoisuus tulisi olla vähintään 15 %, jotta lietettä voitaisiin kutsua orgaaniseksi lannoitteeksi. Niin ikään kuiva-ainepitoisuuden pitäisi olla vähintään 15 %, jotta lietettä voitaisiin kutsua maanparannusaineeksi.

Suomessa kalankasvatuksen lietettä pidetään tällä hetkellä jätteenä, ja ennen sen käyttöä lannoitevalmisteen ainesosana se on käsiteltävä esimerkiksi kompostoimalla tai mädättämällä. Muille jätevesilietteille käsittelyksi soveltuisi myös kalkkistabilointi tai fysikaalinen kuivaus. Pelkän lietteen tiivistyksen myötä ravinnepitoisuudet jäävät alle lannoitevalmisteen rajan mutta myös jätestatuksen vuoksi käsittelemättömän kalalietteen suora peltolevitys edellyttäisi ympäristölupaa. Lainsäädännön taustalla on se, että vesieläinperäiset sivutuotteet luokitellaan EU:ssa erilliseen riskikategoriaan, jolloin niiden käsittelyvaatimukset ovat tiukemmat kuin kotieläinten lietteellä. Lainsäädännölliset haasteet tulisi ratkaista, jotta kalojen liete rinnastettaisiin kotieläinten lietteeseen.

3.3 Typen talteenotto

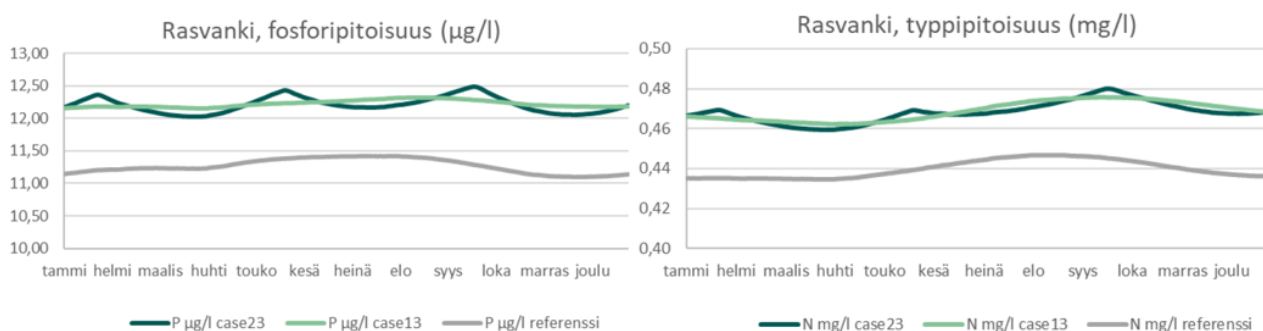
Laimean ammoniumpitoisen typen talteenotto osoittautui selvityksessä teknisesti vaikeaksi ja taloudellisesti kannattamattomaksi toteuttaa. NPHarvestin talteenottoprosessin kannalta kalankasvatusveden typpipitoisuus on liian alhainen prosessin toimivuuden kannalta. Weeefinerin 4D siepparilla ammoniumtypen spesifinen talteenotto onnistuu, mutta prosessin kustannukset nousevat liian korkeaksi. Talteenotettavan typen määrä on niin vähäinen (näissä laskuissa noin 7 tn N), että sen hyödyntämiselle ei saada taloudellisesti kannattavaa käyttöä. Erilaisilla reaktiivisilla materiaaleilla, kuten aktivoitulla biohiilellä ja zeoliitilla on myös mahdollista siepata vedestä ammoniumtyypeä. Sitomiskyky on kuitenkin osoittautunut liian pieneksi (enintään 2 %), jolloin tarvittavat materiaalmäärät kalalaitoksen tarpeita varten ovat valtavat. Laskennallisesti laitos tarvitsisi reaktiivista materiaalia saman verran kuin se käyttää kalanrehua tuotannossa (ko. laitoksessa noin 250 tonnia vuodessa). Osaa reaktiivisista aineista voidaan kuitenkin regeneroida ja huuhtoa ammoniumtyppi ravinneliuokseen. Regenerointia ei voida kuitenkaan tehdä loputtomiin, jolloin typen sitomiseen tarvittavat materiaalmäärät pysyvät suurina. Osittaiskiertovesikasvatuksessa ammoniumtypen pitoisuus on välillä 5–15 mg/L ja iso osa talteenottavista menetelmistä on kehitetty yhdyskunta- ja jätevedenpuhdistuksen ehdoilla, joissa ammoniumtyppipitoisuus voi olla välillä 25–100 mg/L. Tulokset ohjaavat jatkossa kohdistamaan



kehitystyötä joko prosessiveden ammoniumpitoisuuden nostamiseen tai menetelmiin, joiden taloudellinen kannattavuus ei perustu typen myyntiarvoon.

3.4. Kuormituksen mallinnus

Kuormitus mallinnettiin kahdella tavalla, tasaisena kuormituksena ja vaihtuvana kuormituksena (Kuva 4). Tasainen kuormitus perustuu tilanteeseen, jossa ruokinta pysyy jatkuvasti samana mutta vaihtuvassa kuormituksessa tuotetaan kolme erää vuodessa, jolloin ruokinta nousee kalabiomassan nousun mukana. Korkeimmalla kuormitusskenaariolla (fosforikuormitus noussut yhteensä 1640 kg:aan) kahdella eri mallinnustavalla ei havaittu olevan merkittävää eroa ravinnepitoisuuksiin, joten tarkemmat analyysit tehtiin käyttäen vaihtelevaa kuormitusta.



Kuva 4. Korkeimman kuormitusskenaarion vaikutus Nilakkalohen alapuolisen Rasvankin typpi- ja fosforipitoisuuteen kahdella kuormitustavalla (vaihteleva ja tasainen kuormitus) simuloituna.

Millään mallinnetulla fosforikuormituksella ei havaittu olevan merkittäviä vaikutuksia alapuolisten vesialueiden kesäaikaiseen fosforipitoisuuteen (Taulukko 3). Ympäristöluvan mukaisen 1 000 kg fosforikuormitus ei nostanut ollenkaan ensimmäisen alapuolisen vesimuodostuman (lisvesi-Virmasvesi-Rasvanki) kesäaikaista fosforipitoisuutta. Vesi virtaa kokonaan Rasvankin osa-alueen läpi, jossa ympäristöluvan mukainen kuormitus nostaa kesäaikaista fosforipitoisuutta vain reilun prosentin.

Taulukko 3. Eri kuormitusskenaarioiden vaikutus Nilakkalohen alapuolisten vesialueiden kesäaikaiseen fosforipitoisuuteen. Nykytila = Edellisen 10 vuoden aikaisen kuormituksen mallinnetut pitoisuudet, Ref RCP0 = Nykyisen 660 kg fosforikuormituksen mallinnetut pitoisuudet, Ref RCP4.5A = Nykyisen 660 kg fosforikuormituksen mallinnetut pitoisuudet ilmastoskenaariossa, Case 21 = 1 000 kg fosforikuormituksen mallinnetut pitoisuudet ilmastoskenaariossa, Case 22 = 1 340 kg fosforikuormituksen mallinnetut pitoisuudet ilmastoskenaariossa, Case 23 = 1 640 kg fosforikuormituksen mallinnetut pitoisuudet ilmastoskenaariossa.

KESÄ-PITOISUUS ug/l	lisvesi-Virmasvesi-Rasvanki	lisvesi (osa-allas)	Rasvanki (osa-allas)	Virmasvesi (osa-allas)	Niinivesi (pieni allas)	Koskelovesi-Miekkavesi	Lonkari (Hankavesi)
Nykytila	9,77	8,22	11,46	11,69	8,28	9,21	10,00
Ref RCP0	9,77	8,21	11,51	11,65	8,23	9,32	9,53
Ref RCP4.5A	9,68	8,23	11,39	11,39	8,23	9,04	9,32
Case21	9,77	8,32	11,60	11,39	8,31	9,10	9,37
Case22	9,85	8,41	11,83	11,39	8,38	9,16	9,43
Case23	10,01	8,57	12,26	11,39	8,52	9,28	9,53
Tilaraja, kesä	10 (erinom.)	10 (erinom.)	10 (erinom.)	10 (erinom.)	10 (erinom.)	10 (erinom.)	25 (erinom.)

Millään mallinnetulla typpikuormituksella ei havaittu olevan merkittäviä vaikutuksia alapuolisten vesialueiden kesäaikaiseen typpipitoisuuteen (Taulukko 4). Nykyisen ympäristöluvan salliman

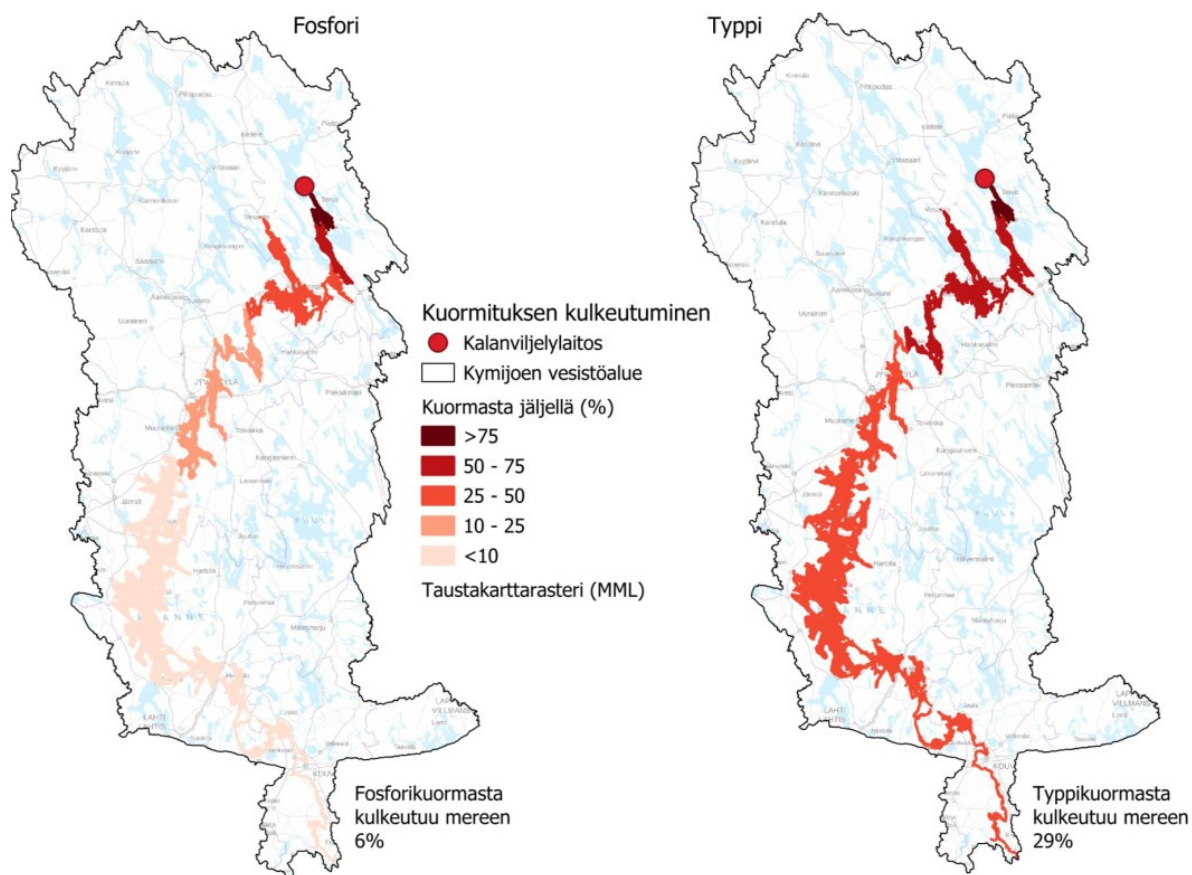


toiminnan aiheuttama typpikuormitus ei nosta ollenkaan ensimmäisen alapuolisen vesimuodostuman (lisvesi-Virmasvesi-Rasvanki) kesäaikaista typpipitoisuutta. Vesi virtaa kokonaan Rasvangan osa-alueen läpi, jossa ympäristöluvan mukainen kuormitus nostaa kesäaikaista typpipitoisuutta vain reilu kaksi prosenttia.

Taulukko 4. Eri kuormitusskenaarioiden vaikutus Nilakkalohen alapuolisten vesialueiden kesäaikaiseen typpipitoisuuteen. Nykytila = Edellisen 10 vuoden aikaisen kuormituksen mallinnetut pitoisuudet, Ref RCP0 = Nykyisen typpikuormituksen mallinnetut pitoisuudet, Ref RCP4.5A = Nykyisen typpikuormituksen mallinnetut pitoisuudet ilmastoskenaariossa, Case 21 = 7 800 kg typpikuormituksen mallinnetut pitoisuudet ilmastoskenaariossa, Case 22 = 15 700 kg typpikuormituksen mallinnetut pitoisuudet ilmastoskenaariossa, Case 23 = 31 300 kg typpikuormituksen mallinnetut pitoisuudet ilmastoskenaariossa.

KESÄ-PITOISUUS mg/l	lisvesi-Virmasvesi-Rasvanki	lisvesi (osa-allas)	Rasvanki (osa-allas)	Virmasvesi (osa-allas)	Niinivesi (pieni allas)	Koskelovesi-Miekkavesi	Lonkari (Hankavesi)
Nykytila	0,39	0,39	0,43	0,35	0,37	0,41	0,41
Ref RCP0	0,39	0,39	0,44	0,36	0,37	0,42	0,40
Ref RCP4.5A	0,40	0,40	0,44	0,36	0,38	0,42	0,40
Case21	0,40	0,40	0,45	0,36	0,38	0,42	0,41
Case22	0,40	0,41	0,46	0,36	0,38	0,43	0,41
Case23	0,41	0,42	0,47	0,36	0,39	0,43	0,42
Tilaraja (kesä)	0,4 (erinom.)	0,4 (erinom.)	0,4 (erinom.)	0,4 (erinom.)	0,4 (erinom.)	0,4 (erinom.)	0,45 (erinom.)

Kymijoen latvaosilla mutta virtauksiltaan hyvällä paikalla sijaitsevan Nilakkalohen kuormituksesta sitoutuu valtaosa matkalla Itämereen (Kuva 5). Fosforikuormituksesta 6 % ja typpikuormituksesta 29 % kulkeutuu Itämereen.



Kuva 5. Fosfori- ja typpikuormituksen kulkeutuminen Nilakkalohen laitokselta Itämereen saakka.



4. Hankkeen vaikutukset

4.1. Ravinteiden kierrätys ja ravinnepestöt

Hankkeen tavoitteena oli sekä lisätä kalankasvatuksesta tulevien ravinteiden lannoitekäyttöä mutta myös vähentää kalankasvatuksesta Itämereen kohdistuvaa kuormitusta. Ravinteita talteenottavalla järjestelmällä arvioidaan saatavan talteen 90 % kiintoaineesta ja 70 % kokonaisfosforista (Nummela 2023). Esimerkiksi fosforin talteenotto on huomattavasti suurempi, mitä nykyisten maauomalaitosten lietteenpoistoteknologialla saadaan talteen, joilla talteenotto on noin 5 % (Vielma ym. 2020). Järjestelmä otetaan käyttöön alkukevästä 2026, jolloin saadaan tarkempaa tietoa koko laitostason ravinteiden talteenottototehosta.

Näillä talteenottotehoilla laskettuna saadaan ravinnekäyttöön fosforia 554 kg ja typpeä 1094 kg. Koska typen talteenottoon ei tässä hankkeessa löydetty kustannustehokasta ratkaisua, jäi kokonaisuudessaan kierrätettävien ravinteiden määrät pieniksi. Liete voidaan kuljettaa myös biokaasulaitokselle. Ravinteita talteenottavalla järjestelmällä saadaan noin 36 tonnia orgaanista ainetta talteen, jonka metaanintuotto voi olla noin 9 000 m³ CH₄ vuodessa. Tämä vastaa noin 90 MWh metaanienergiaa vuodessa. Mikäli matka suuntaansa on noin 100 km ja porttimaksu 60 €/m³, tulee lietteen käsittelykustannukseksi noin 45 000 € per vuosi.

Hankkeessa arvioitiin myös ravinteiden kulkeutumista ja kalankasvatuksen vaikutusta Itämereen. Nilakkalohen laitokselta kulkeutuu fosforikuormasta 6 % ja typpikuormasta 29 % Itämereen. Hankkeen lähtökohtana oli Itämerirehun käyttö kalojen ruokintaan myös sisävesillä. Itämerirehua ei ole varsinaisesti määritelty mutta tässä hankkeessa sillä tarkoitettiin kalanrehua, jonka kalajauhasta 20 % oli Itämeren silakkaa ja kilohailia. Laskelmat on tehty tilanteessa, jossa kalanrehussa on 15 % kalajauhoa. Ilman Itämerirehuakin Paras-laitoksen käyttöönotto poikastuotantoon 250 tn kokoluokassa pienentää Itämereen kohdistuvaa fosforikuormitusta 24 % ja typpikuormitusta 17 % verrattuna tilanteeseen, jossa poikaset (50 g > 500 g) kasvatetaan rannikolla verkkoaltaissa (Taulukko 4). Itämeren näkökulmasta pelkkä poikastuotanto Paras-laitoksessa Itämerirehulla muuttaa poikastuotannon ravinteiden nettopoistajaksi.

Taulukko 4. Eri tuotantoskenaarioiden ravinnepestöt Itämereen. Ravinnekuormituksen vähenemät on laskettu vertailuna tilanteeseen, jossa poikastuotanto (50 g > 500 g) tehdään rannikolla verkkoaltaissa suojaisilla paikoilla.

Parametri \ Skenaario	Poikastuotanto rannikolla + avomerikasvatus	Paras poikastuotanto + avomerikasvatus	Paras poikastuotanto Itämerirehulla + avomerikasvatus	Paras poikastuotanto + koko tuotanto Itämerirehulla	Paras poikastuotanto Itämerirehulla
Tuotantomäärä (tn)	1150	1150	1150	1150	250
Rehunkulutus (tn)	1273	1260	1260	1260	225
Typpipäästö (kg)	43 256	35 963	32 588	20 438	-1049
Fosforipäästö (kg)	3 795	2 891	2 215	-214	-659
Typen ominaiskuormitus (kg tn ⁻¹)	37.6	31.3	28.3	17.8	-4.2
Fosforin ominaiskuormitus (kg tn ⁻¹)	3.3	2.5	1.9	-0.2	-2.6
Typpikuormituksen vähenemä*	-	17 %	25 %	53 %	-
Fosforikuormituksen vähenemä*	-	24 %	42 %	106 %	-
Typen ravinnekäyttö (kg)	-	1094	1094	1094	1094
Fosforin ravinnekäyttö (kg)	-	554	554	554	554

* verrattuna poikastuotantoon ja avomerikasvatukseen merellä



4.2. Talous- ja työllisyysvaikutukset

Hankkeen avulla saatiin investoitua ravinteita talteenottava järjestelmä ja ilman hankerahoitusta koko laitoksen rakentaminen olisi voinut viivästyä tai kariutua kokonaan. Investoinnin toteutumisen myötä uudella laitoksen suora työllistymisvaikutus on 3 htv. Kalankasvatuksen työllisyyskertoimen myötä (4,3 htv) kokonaisvaikutus työllisyyteen on noin 13 htv. Nilakkalohen liikevaihdon odotetaan kaksinkertaistuvan uuden osittaiskiertolaitoksen avulla.

Paras Aquan vetämän tutkimus- ja kehitysosion tulokset eivät toteutuneet täysin tavoitteiden mukaisesti. Erityisesti typen talteenottoon ja poistamiseen liittyvät ongelmat eivät ratkenneet. Yritys sai kuitenkin luotua toimintamallin ja kehitettyä verkostoja jatkohankkeiden suunnitteluun ja toteuttamiseen. Toimintamalli ja teknologian ympäristöystävällisyys luovat kuitenkin hyvät mahdollisuudet teknologian laajemmalle käyttöönololle.

5. Hankkeen viestintä ja talous

Hankkeen etenemisestä viestittiin sekä Nilakkalohen Facebook-sivuilla, että Paras Aquan LinkedIn-sivuilla. Hankkeesta viestittiin lisäksi kotimaisissa kalankasvatukseen liittyvissä tapahtumissa Jyväskylässä (Kalafoorumi), Kristiinankaupungissa (Kalankasvatuksen kesäpäivät) ja Helsingissä (Kalatalouden innovaatiopäivät). Tämän lisäksi hankkeesta viestittiin EU:n kalastuskomissaarin vierailulla Helsingissä. Hankkeen käynnistämisestä tehtiin lehdistötiedote, josta Yle ja Sisä-Savon paikallislehti teki lehtijutut.

Hankkeen hyväksytyt kokonaiskustannukset muutoshakemuksen jälkeen olivat tutkimusosion osalta 210 332 € ja investointiosion osalta 380 000 €. Tutkimusosion toteutuneet kustannukset olivat 197 012 €, josta Ympäristöministeriön osuus oli 137 908 €. Investointiosion toteutuneet kustannukset olivat 352 267 €, josta Ympäristöministeriön osuus oli 211 360 €.

6. Yhteenveto

Hankkeessa todennettiin, että hyvällä sijainnilla sisävesillä ja Itämeriperäisillä raaka-aineilla tehty kalankasvatus voi olla Itämeren näkökulmasta ravinteiden nettopoistaja ja kierrätysravinteiden tuottaja. Tämän lisäksi kalankasvatustaloksen hyvä sijainti ja tehokas lietteen talteenotto mahdollistavat paikallisesti pienet ympäristövaikutukset. Hankkeessa luotu toimintamalli osoittautui ympäristön ja paikallistalouden kannalta järkeväksi. Mallin avulla saadaan kotimaista kalatuotantoa lisättyä ympäristöystävällisesti. Kalan hiilijalanjälki on myös punaista lihaa pienempi, joten kalan lisääntyneen tarjonnan myötä ruuantuotannon hiilijalanjälki laskee. Samalla saadaan luotua kotimaista ruokaturvaa ja elinvoimaa maaseutualueelle. Hankkeen tulokset tukevat Suomen ravinnekierrätyksen, huoltovarmuuden ja vähäpäästöisen kotimaisen proteiinituotannon strategisia tavoitteita.

Typen talteenottoon ja sivuvirtojen ravinnepotentiaalin hyödyntämiseen on viime vuosina kehitetty uutta teknologiaa. Osittaiskiertokasvatuksessa poistoveden ammoniumtyyppipitoisuus on kuitenkin niin pieni, ettei teknologian hyödyntäminen ole vielä taloudellisesti kannattavaa. Myös lietteen hyötykäytön edistämiseksi tulisi lainsäädäntöä viedä suuntaan, jossa eri eläinperäisten lietteiden hyötykäyttö olisi samalla viivalla.



Lähdeluettelo

- Nummela, H. 2023. Kalojen osittaiskiertovesikasvatuksen ravinnepäästöt ja poistoveden käsittelymenetelmät. Jyväskylä yliopisto. Pro Gradu tutkielma. Jyväskylä. 35 s.
- Vielma, J., Naukkarinen, M., Myyrä, R., Pulkkinen, J. & Kiuru, T. Läpivirtauslaitosten ravinnekuormituksen vähentäminen. 2020. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 76/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 38 s.
- Ympäristöministeriö 2020. Kalankasvatuksen ympäristönsuojeluohje. Ympäristöministeriön julkaisuja 2020:22. Helsinki. 120 s.