

LOPPURAPORTTI HIILIVIISASTA KIERTOTALOUTTA - HANKE

Säilöntätutkimus –
Kalan sivuvirtojen fermentointi ja käyttömahdollisuudet
Macon Oy
17.12.2025



Euroopan unionin
osarahoittama



TIIVISTELMÄ

Tämä raportti on laadittu osana Hiiliviisasta kiertotaloutta -hanketta, jonka tavoitteena on kehittää Koillismaan alueen sivuvirtojen hyödyntämistä kiertotalouden periaatteiden mukaisesti. Hanke on Euroopan unionin osarahoittama ja sen päätoteuttajana toimii Koillis-Suomen kehittämissyhtiö Naturpolis Oy.

Työn vastuullinen toteuttaja oli Macon Oy, jonka tiimiin kuuluivat projektipäällikkö, TkT, dosentti Sanna Taskila ja asiantuntija, FM Mikko Ahokas. Fermentointikokeista ja analyyseistä vastasi HAMK, jonka tiimiin kuuluivat tutkimuspäällikkö FT M. Minna Laine ja tutkijayliopettaja MMT Outi-Maaria Sietiö. Laboratoriokokeista vastasivat Laura Kannisto, Sirja Kuusisto, Arttu Kirjava ja Katja Heikkinen.

Tutkimuksessa selvitettiin, voidaanko Koillismaan alueen kalasivuvirtoja – erityisesti kirjolohen, hauen ja muikun perkeitä sekä suolia – säilöä tehokkaasti maitohappofermentoinnin avulla, ja millaisiin käyttökohteisiin tällainen materiaali soveltuu. Toteutus perustui laboratoriomittakaavan fermentointi- ja säilyvyyskokeisiin, mikrobiologisiin ja ravinneanalyyseihin sekä biokaasupotentiaalin määrittäisiin.

Tulosten perusteella pelkkä fermentointi ei riittänyt varmistamaan kalamassojen mikrobiologista säilyvyyttä, mutta happo- ja fermentointikäsittely yhdessä paransi selvästi sivuvirtojen stabiiliteettia. Happokäsittely kirjolohen suolimassa osoittautui mikrobiologisesti hyvälaatuiseksi mahdolliseen eläinruokakäyttöön ja energiapotentiaaliltaan soveltuvaksi biokaasun tuotantoon. Ruoto- ja villikalatmassat sen sijaan vaativat jatkokehitystä stabiloinnin ja hajunhallinnan osalta.

Teknistaloudellisessa tarkastelussa arvioitiin kymmenen erilaista käsittelyvaihtoehtoa, jotka kattavat energia-, rehu- ja lannoitesovellukset. Alustavan arvion perusteella hygienisoitu rehuraaka-aine ja happohydrolysaatti nousivat kokonaistaloudellisesti vahvimmiksi vaihtoehdoiksi. Ne yhdistävät kohtuullisen investointitason, nopean takaisinmaksun ja selkeän markkinapotentiaalin. Rasvan erotus yhdistettynä fermentointiin sekä entsymaattinen hydrolyysi puolestaan tarjoavat korkeamman paikallisen jalostusarvon ja soveltuvat erityisesti jatkokehityksen ja vientimarkkinoiden kohteiksi.

Johtopäätöksenä todetaan, että Koillismaan kalasivuvirroista on mahdollista tuottaa markkinakelpoisia rehu-, lannoite- ja energiatuotteita, kunhan stabilointiprosessi suunnitellaan raaka-ainekohtaisesti ja hygienisointivaatimukset huomioiden. Lyhyen aikavälin kehitystoimenpiteinä suositellaan lisätutkimuksia käsittelyiden ja etenkin olosuhteiden vaikutuksista, prosessiolosuhteiden optimointia, markkinaselvitystä erityisesti lemmikki-ruoka-, rehu- ja lannoiteteollisuuden tarpeisiin sekä pilotointia parhaiksi arvioiduilla käsittelyvaihtoehdoilla.



Euroopan unionin
osarahoittama



SISÄLLYS

Johdanto	2
Tutkimuksen toteutus	4
Tutkimustulokset	8
Käyttömahdollisuudet ja niiden rajoitteet	12
Vaihtoehtoisten käsittelytapojen vertailu	15
Johtopäätökset	22

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoitteet

Hiiliviisasta kiertotaloutta -hankkeen tavoitteena on nostaa Koillismaalla syntyvien sivuvirtojen hyödyntämisastetta käyttäen kiertotalouden uusia ratkaisuja. Tämän työn kohteena ovat Koillismaan alueen kalasivuvirrat, joita syntyy vuosittain yli 100 tonnia erilaisissa prosesseissa [1-2]. Kainuun Kalaleader –strategian mukaan sivuvirtojen ja sivusaaliin hyödyntäminen on olennainen keino nostaa kalan paikallista jalostusastetta [3]. Erääksi kehittämisen painopisteeiksi strategiassa mainitaan uusien tuotteiden kehittäminen sivuvirroista ja sivusaaliiden hyödyntäminen. Samoin Koillismaan vesistöohjelmassa mainitaan sivuvirtojen käsittely ja siihen liittyvät investoinnit tärkeäksi toimenpiteeksi kalatalouden jatkuvuuden kannalta [4].

Suomessa kalasivuvirtojen hyödyntämiseen liittyy useita haasteita, jotka vaikeuttavat niiden täysimääräistä käyttöä. Logistiset ongelmat ovat merkittäviä, sillä kalastus ja jalostus keskittyvät usein harvaan asutuille alueille, joissa keräys, kuljetus ja varastointi ovat kalliita ja hankalia. Kalasivuvirrat ovat myös helposti pilaantuvia, minkä vuoksi ne täytyy käsitellä nopeasti keräyksen jälkeen. Lainsäädäntö asettaakin tiukat vaatimukset kalasivuvirtojen käsittelylle ja luokittelulle, mikä voi rajoittaa niiden käyttöä esimerkiksi rehussa tai elintarvikkeissa. Myös taloudellinen kannattavuus on haaste: sivuvirtojen arvo on usein alhainen suhteessa keräys- ja käsittelykustannuksiin, eikä hyödyntämisketjuja ole välttämättä valmiina.

Edellä kuvattujen haasteiden vuoksi on keskeistä, että kalasivuvirrat säilötään eli stabiloidaan mahdollisimman tehokkaasti talteenoton jälkeen. Säilöntä mahdollistaa sivuvirtojen turvallisen varastoinnin, kuljetuksen ja käsittelyn ennen jatkojalostusta. Ilman säilöntää kalasivuvirrat pilaantuvat nopeasti, mikä estää niiden hyödyntämisen esimerkiksi rehussa, biokaasun tuotannossa, lannoitteissa tai elintarvikeinnovaatioissa. Säilöntä siis pidentää käyttöaikaa, säilyttää ravintoarvoa ja vähentää hygieni- ja hajuhaittoja, luoden edellytykset taloudellisesti ja ympäristön kannalta kestäville käyttöratkaisuille.

Tämän työn tavoite on kehittää kalasivuvirroille säilyvyyttä parantava

17.12.2025

käsittelyratkaisu perustuen maitohappofermentointiin, mikä seurauksena materiaalin pH laskee ja muiden mikrobien kasvu hidastuu tai estyy kokonaan. Fermentoinnin ansiosta kalasivuvirtojen kuljetus ja käsittely helpottuu, ja niiden potentiaali saadaan hyödynnettyä paremmin.

1.2 Tutkimuskysymykset

Työn toteutusta ohjasivat seuraavat tutkimuskysymykset (TK).

TK1. Säilyvätkö villikalalojen perkeet ja sivusaaliit sekä kasvatetun kirjolohen ja siian suolet 30 vuorokautta huoneenlämmössä tai +5–6 asteessa maitohappo-melassiseoksella fermentoimalla?

TK2. Millaisiin käyttökohteisiin maitohappo-melassiseoksella fermentoidut villikalalan perkeet ja sivusaaliit sekä kasvatetun kirjolohen ja siian suolet soveltuvat (biokaasutus, turkiseläinten rehu, lemmikin ruoka, muut käyttökohteet)?

TK3. Mikä on fermentoinnin vaikutus villikalalojen suomuihin ja ruotoihin (esim. ruotojen pehmenemiseen)?

- 1) Macon 2023. Kuusamon kiertotalous 2030 – hanke, Työpaketti 1: Materiaalivirtojen analyysi. <https://www.kuusamo.fi/tiedostot/tyopaketti-1-materiaalivirtojen-analyysi-loppuraportti/>
- 2) Vääräniemi 2025. Henkilökohtainen tiedoksianto.
- 3) Kainuun ja Koillismaan Kalaleader 2024. Kainuun ja Koillismaan kalaleader-strategia 2021-2027. <https://www.kainuunkalaleader.fi/wp-content/uploads/2024/04/Kainuun-ja-Koillismaan-paivitetty-Kalaleader-strategia-2021-2027.pdf>
- 4) Naturpolis 2022. Koillismaan vesistöohjelma. <https://www.pohjois-pohjanmaa.fi/wp-content/uploads/2021/02/A63-.pdf>

1.3 Kalasivuvirtojen säilöntämenetelmät

Suomessa ja kansainvälisesti on kehitetty useita menetelmiä kalasivuvirtojen säilöntään. Yleisimpiä menetelmiä ovat happokäsittely, kuumakäsittely ja pakastus. Happokäsittelyssä orgaanisilla hapoilla kuten muurahaishapolla tai maitohapolla saadaan aikaan nopea pH:n lasku, joka stabiloii raaka-aineen. Kuumakäsittely tuhoaa tehokkaasti mikrobeja, jolloin raaka-aine saadaan myös hygienisoitua samalla. Pakastus puolestaan hidastaa pilaantumista estämällä mikrobien kasvun mutta vaatii sulatuksen jälkeen nopean jatkokäsittelyn.

Edellisten lisäksi eräs elintarvikealalla paljon käytetty menetelmä on maitohappofermentointi, jossa hyödynnetään maitohappobakteereja happamuuden laskemiseen ja mikrobien kasvun estämiseen. Fermentointia on tutkittu ja hyödynnetty paitsi kalasivuvirtojen säilyvyyden parantamiseen myös arvokkaiden yhdisteiden, kuten omega-3-rasvahappojen, hyödyntämiseen. Haasteita liittyy kuitenkin taloudelliseen kannattavuuteen, teknologioiden skaalaukseen teolliseen mittakaavaan sekä sääntelyn ja markkinoiden hyväksyntään.

Joissain tutkimuksissa on tarkasteltu kuivaukseen, biopohjaisiin säilöntäaineisiin ja entsyymaattisiin esikäsittelyihin perustuvia ratkaisuja, joiden avulla kalasivuvirrat voidaan säilyttää turvallisina ja käyttökelpoisina eri käyttökohteissa. Taulukossa 1.3 on esitetty esimerkkejä säilöntämenetelmistä, joita on tutkittu suomalaisissa hankkeissa [1-3]. Harvemmin käytetyt teknologiat, kuten membraanisuuodatus, ylikriittinen CO₂-uutto ja korkeapainekäsittely, voivat myös toimia kalasivuvirtojen säilönnässä [4].

Yhteenvedona voidaan todeta, että kalasivuvirtojen säilöntään on tarjolla laaja kirjo erilaisia menetelmiä, joiden avulla niiden jatkojalostusmahdollisuudet voidaan maksimoida. Olennaista on löytää tilanteeseen parhaalla mahdollisella tavalla soveltuvat sekä teknistaloudellisesti järkevät prosessit.

Taulukko 1.3. Esimerkkejä kalasivuvirtojen säilöntämenetelmistä.

Menetelmä	Kuvaus	Edut	Rajoitukset ja huomiot
Fermentointi hiivalla tai maitohappobakteereilla [1]	Silakan sivuvirrat fermentoituina 14 vrk käyttäen <i>Torulaspora delbrueckii</i> tai <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> . Tutkittu myös öljyn eristystä fermentoinnin jälkeen.	Öljyn saanto paranee, tiettyjen omega-3-rasvahappojen (EPA, DHA) osuus voi kasvaa	Fermentoinnissa voi muodostua epämiellyttäviä hajuja ja hapettumistuotteita; olosuhteet vaikuttavat lopputulokseen
Happosäilöntä [2]	Säilöntä orgaanisilla hapoilla (esim. muurahaishappo, maitohappo) kalan sivuvirroissa; nopea pH:n lasku	Estää mikrobikasvua ja pidentää säilyvyyttä; soveltuu biokaasulaitoksille	Hapon neutralointi voi olla tarpeen; soveltuvuus rehuksi ja elintarvikkeisiin riippuu lainsäädännöstä
Pakastaminen [2]	Kalasivuvirran pakastaminen ja säilytys kylmäketjussa ennen jatkokäsittelyä	Säilyttää tuoreuden tehokkaasti, estää mikrobikasvun; tunnettu ja varma tekniikka	Energiaintensiivinen, vaatii kylmäketjun; sulatus voi heikentää laatua
Kuivaus (kalajauheeksi)[3]	Sivuvirtojen kuivaus ja jauhaminen kalajauheeksi; myös nahat ja ruodot hyödynnettävissä	Pitkä säilyvyys, helppo varastoida ja kuljettaa; proteiinipitoinen tuote	Kuivaus on kallista energiankulutuksen vuoksi; korkeat lämpötilat voivat heikentää laatua
Arvoaineiden erotus (öljy, proteiinit, mineraalit) [2]	Fileointijäännöksistä öljyn talteenotto, proteiinien erottelu, ruodoista kalsiumin ja fosforin hyödyntäminen	Lisää taloudellista arvoa, vähentää jätettä; mahdollistaa elintarvike- ja rehukäytön	Vaatii investointeja; erotusteknologioiden tehokkuus ja sääntely rajoittavat

- 1) Holopainen 2025. Kalaöljyn eristys silakasta fermentaatiolla. Pro gradu –tutkielma. Turun yliopisto.
- 2) Vielma ym. 2013. Vähäarvoisen kalamateriaalin jalostus lisäarvotuotteiksi-liiketoimintanäkymät. RKTL:n työraportteja 28/2013.
- 3) Bertills & Jung 2025. Kalajauheesta uusi ratkaisu kotimaiseen kalatalouteen. EMKVR. Ajankohtaista.
- 4) Ali ym. 2022. Research progress on nutritional value, preservation and processing.... Foods, 11(22), 3669.

1.4 Maitohappofermentointi säilöntämenetelmänä

Maitohappofermentointi on yksi vanhimmista ja laajimmin käytetyistä bioteknologisista prosesseista, joka perustuu maitohappobakteerien kykyyn muuntaa sokereita maitohapoksi ja muiksi orgaanisiksi hapoiksi anaerobisissa olosuhteissa. Orgaanisten happojen muodostuminen laskee raaka-aineen pH:n tasolle, joka estää pilaantumismikrobien kasvua, stabiloi raaka-ainetta ja parantaa tuotteen säilyvyyttä sekä turvallisuutta.

Maitohappofermentointi voidaan toteuttaa käyttäen luonnon mikrobikantoja tai valikoituja starter-viljelmiä eli siirrosteita. Kyseessä on suhteellisen yksinkertainen ja energiatehokas menetelmä, joka on sovellettavissa monenlaisiin raaka-aineisiin. Historiallisesti maitohappofermentointia on käytetty tuhansia vuosia ympäri maailmaa muun muassa vihannesten, maitotuotteiden ja kalan säilöntään, mikä loi perustan sekä ruokaturvalle että ruokakulttuurille ennen modernia kylmäsäilytystä. Elintarviketeollisuudessa maitohappofermentoinnista on kehittynyt hallittu prosessi, jossa voidaan tarkasti ohjata käymisen olosuhteita ja valittuja mikrobikantoja, mikä mahdollistaa laajakirjoisten tuotteiden – kuten jogurtin, hapankaalin, leivän ja kala- sekä lihavalmisteiden – valmistuksen tasalaatuisesti ja turvallisesti. Kalasivuvirtojen on todettu soveltuvan hyvin maitohappobakteerien kasvatusalustaksi [1].

Kalasivuvirtojen maitohappofermentointia on tutkittu sekä Suomessa että kansainvälisesti lupaavana menetelmänä raaka-aineen stabilointiin ja jatkokäyttöön. Tutkimuksissa on raportoitu lukuisia hyötyjä: maitohappofermentointi stabiloi rasvahappokoostumusta ja voi jopa lisätä arvokkaiden yhdisteiden, kuten omega-3-rasvahappojen, käyttökelpoisuutta [2] sekä vähentää kalajätteen käsittelyn hajuhaittoja [3]. Lisäksi menetelmä on suhteellisen energiatehokas verrattuna esimerkiksi pakastukseen tai lämpökäsittelyyn. Teknisenä haasteena on kuitenkin prosessin optimointi eri raaka-aineille, sillä mikrobikantojen, lämpötilan ja fermentointiajan valinnat vaikuttavat merkittävästi lopputuotteen laatuun ja jatkokäyttömahdollisuuksiin [1-4]. Näiden teknisten haasteiden sekä vaadittavan investoinnin ja toisaalta

tuotteiden käyttömahdollisuuksien epävarmuuden vuoksi fermentoinnin käyttöön liittyy teknistaloudellisia haasteita.

Taulukko 1.4. Esimerkkejä kalasivuvirtojen maitohappofermentoinnista.

Tutkimuksen kohde	Keskeiset löydökset ja edut	Rajoitteet ja huomiot
Fermentointi sivukaloista LAB-kannoilla (* <i>L. plantarum</i> , <i>L. brevis</i> , <i>L. casei</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides</i> *)[1]	Kalasivuvirtojen fermentointi tuotti vastaavat määrät maitohappoa ja biomassaa kuin maitohappobakteerien kasvatus vertailumediumissa; tuo kustannussäästöjä ravinteiden osalta	Raaka-aine-erot vaikuttavat; kaikkien kantojen tuotanto ei yhtä tehokasta; teollinen sovellus vaatii optimointia
Katsaus fermentointi-menetelmistä kalan sivutuotteiden käsittelyssä [2]	Fermentointi parantaa mahdollisuuksia hyödyntää arvokkaita yhdisteitä (peptidit, antioksidantit) ja mahdollistaa uusia tuotteita	Spontaani fermentointi tuottaa epätasalaatuisia tuloksia; optimointi tarpeen; taloudelliset kysymykset
Vertailu kemiallisen hydrolyysin ja fermentoinnin välillä [3]	Fermentointi johti parempaan säilyvyyteen, vähensi haitallisten yhdisteiden määrää ja paransi makua	Yhdistelmäprosessit monimutkaisia; mikrobiologinen turvallisuus varmistettava
Maitohappobakteerien rooli fermentoiduissa kalatuotteissa [4]	Maitohappobakteerit parantavat turvallisuutta, estävät patogeenien kasvua ja parantavat makua	Olosuhteet (suola, pH, lämpötila) vaikuttavat; spontaani fermentointi tuottaa epätasalaatuisia tuloksia

- 1) Vázquez ym. 2020. Bioconversion of fish discards through the production.... Foods, 9(9), 1239.
- 2) Marti-Quijal ym. 2020. Fermentation in fish and by-products... Current opinion in food science, 31, 9-16.
- 3) Sahu ym. (2016). Fish waste bio-refinery products: its application in organic farming. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology, 1(4), 238605.
- 4) Khiari & Mason 2018. Comparative dynamics of fish by-catch... Lwt, 97, 135-143.
- 5) Cai ym. 2024. Lactic acid bacteria in fermented fish... Journal of Agriculture and Food Research, 16, 101206.

2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

2.1 Kalasivuvirrat ja niiden valmistelu

Fermentointikokeiden kalasivuvirrat toimitettiin Koillismaan yritysten toimesta pakastettuna. Näytteet sisälsivät kirjolohen, hauen ja muikun perkeitä sekä kokonaisia norsseja (Kuva 2.1). Näytteitä sulatettiin hiukan, minkä jälkeen ne murskattiin fermentointikokeita varten joko käsikäyttöisellä murskaimella tai tehosekoittajalla materiaalin palakoosta riippuen.

Kalasivuvirroista muodostettiin fermentointikokeita varten neljä erilaista raaka-ainetta: i) kirjolohen suolet ilman rasvaa (näkyvä rasva dekantoitiin pois), ii) kirjolohen suolet sellaisenaan, iii) kirjolohen ruodot ja iv) villikalaseos (hauen päät, hauen ruodot ja muikun päät).

2.2 Fermentointi- ja säilyvyyskokeet

Fermentointikokeet toteutettiin kahdella eri tavalla: a) ilman happokäsittelyä ja b) happokäsittelyn kanssa. Jokaiseen fermentointireaktioon lisättiin *Lactiplantibacillus plantarum* -maitohappobakteerisiirrosta (Lactosil 3.0) ja ravinteeksi melassia (Hankkijan farmarin seosmelassi). Siirrosten annostus oli 10^6 pmy/g kalamassaa perustuen valmistajan ohjeeseen. Melassin riittävä annostus oli tutkimussuunnitelmassa arvioitu kirjallisuuden perusteella tasolle 5–15 %. Koska tavoite oli käyttää melassia mahdollisimman vähän, tässä työssä käytettiin annostusta 5 %. Osaan massoista lisättiin happoseosta, kunnes pH laski alle tason 4,5 (AIV Ässä Na-tuote). Lisäksi kokeiltiin kokonaisten norrien fermentointia ilman happokäsittelyä.

Fermentointikokeet toteutettiin huoneenlämmössä vetokaapissa 30 päivän ajan (Kuva 2.2a). Reaktiot toteutettiin pulloissa, joiden korkki jätettiin hiukan raolleen. Tämän jälkeen toteutettiin saman tien säilyvyyskokeet joko huoneenlämmössä tai kylmiössä (n. 4 °C) 30 päivän ajan. Fermentointireaktioista otettiin näytteitä säännöllisesti laadunarviointia varten. Näytteiden pH:ta ja ulkonäköä seurattiin, ja valikoiduista näytteistä analysoitiin haihtuvat rasvahapot. Säilyvyysreaktioita observoitiin pullojen avaamista välttäen. Säilyvyysreaktioiden tilanne n. kahden viikon jälkeen on esitetty kuvassa 2.2b. Säilyvyyskokeiden lopuksi otettiin näytteet, joista teetettiin mikrobiologiset analyysit ja rehuanalyysit Eurofins Scientific Finland Oy:n toimesta. Lisäksi HAMK toteutti metaanintuottopotentialikokeet, joiden avulla arvioitiin fermentoitujen kalamassojen soveltuvuutta biokaasun tuotantoon.



Kuva 2.1. Fermentointikokeisiin saadut näytteet.



Kuva 2.2b. Säilyvyys-reaktiot n. 2 vkon jälkeen.



Kuva 2.2a. Kalanäytteitä vetokaapissa.

3 TUTKIMUSTULOKSET

3.1 Fermentoitujen kalasivuvirtojen mikrobiologinen laatu

3.1.1 Mikrobiologisen laadun kriteerit

Mikrobiologisen laadun arvioimiseksi laadittiin tätä työtä varten arviointiasteikko (Taulukko 3.1a) seuraavin perustein. Patogeenien (*Salmonella*, *Listeria*) osalta asteikko perustuu lainsäädännössä kuvattuihin raja-arvoihin [1]. Käytännössä kumpaakaan ei saa havaita 25 g:n näytteessä ollenkaan. Muiden ei-toivottujen mikrobien osalta tehtiin sovellettu tulkinta kirjallisuudesta ja rehu-/elintarvikehygienian viitearvoista.

Taulukko 3.1a. Mikrobiologisen laadun kriteerit ja arviointiasteikko.

Mikrobi / tekijä	Hyvä	Keskitaso	Heikko
Aerobiset mikrobit [1-2]	< 10 ⁴ cfu/g	10 ⁴ – 10 ⁶ cfu/g	> 10 ⁶ cfu/g
Hiivat [3-4]	< 10 ² cfu/g	10 ² – 10 ⁴ cfu/g	> 10 ⁴ cfu/g
Homeet [3-4]	< 10 ² cfu/g	10 ² – 10 ³ cfu/g	> 10 ³ cfu/g
Salmonella [1]	Ei todettu /25 g	–	Todettu
Listeria monocytogenes [1]	Ei todettu /25 g	–	Todettu
Anaerobiset sulf. pelkistävät (klostridit) [5-6]	< 10 ³ cfu/g	10 ³ – 10 ⁴ cfu/g	> 10 ⁴ cfu/g
Rikkivetyä tuottavat bakteerit [5-6]	< 10 ⁴ cfu/g	10 ⁴ – 10 ⁵ cfu/g	> 10 ⁵ cfu/g

3.1.2 Kirjoloheen suolet

Happo- ja fermentointikäsiteltyjen kirjoloheen suolimassojen laatu oli kaikkien mikrobiologisten kriteerien suhteen hyvä kuukauden säilytyksen jälkeen säilytyslämpötilasta riippumatta (Taulukko 3.1b). Sen sijaan kaikissa ilman happoa säilötyissä suolimassoissa esiintyi yleisesti hygieniaindikaattoreina pidettyjä aerobisia mikrobeja fermentoinnin ja säilytysten jälkeen, mikä viittaa stabiloinnin epäonnistumiseen. Voidaan siis todeta, että happokäsittely on parantanut suolimassojen stabilointia. Kirjoloheen suolten rasvan erotus ennen fermentointia ei sen sijaan vaikuttanut mikrobiologiseen laatuun fermentoinnin ja säilönnän jälkeen.

Taulukko 3.1b. Fermentoitujen suolimassojen mikrobiologinen laatu.

	Rasvan erotus + Fermentointi	Rasvan erotus + Happo + Fermentointi	Rasvan erotus + Fermentointi + 1 kk RT	Rasvan erotus + Happo + Fermentointi + 1 kk RT	Rasvan erotus + Fermentointi + 1 kk kylmiö	Rasvan erotus + Happo + Fermentointi + 1 kk kylmiö
Aerobiset mikro-organismit 22°C	arv 2 × 10 ⁴	< 10 ⁴	< 10 ⁴	< 10 ⁴	< 10 ⁴	< 10 ⁴
Aerobiset mikro-organismit 30°C	4,1 × 10 ⁶	< 10 ⁴	arv 2,1 × 10 ⁵	< 10 ⁴	3,3 × 10 ⁶	< 10 ⁴
Anaerob. sulf. pelkistävät bakteerit (klostridit)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Rikkivetyä tuottavat bakteerit	< 10 ⁴	< 10 ⁴	< 10 ⁴	< 10 ⁴	< 10 ⁴	< 10 ⁴
Hiivat	< 10	< 10	arv 28	< 10	< 10	< 10
Homeet	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
<i>Salmonella</i>	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g
<i>Listeria monocytogenes</i>	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g

- 1) Komission asetus (EY) N:o 2073/2005.
- 2) EFSA BIOHAZ Panel (EFSA Panel on Biological Hazards), 2020. Scientific opinion on the update of the list of QPS-recommended biological agents intentionally added to food or feed. EFSA Journal 2020;18(7):6178.
- 3) ISO 21527-1:2008 ja ISO 21527-2:2008
- 4) Holzapfel & Wood (2012). Microbiology of fermented foods. Springer Science & Business Media.
- 5) Komission asetus (EU) N:o 142/2011. Liite XIII.

3.1.3 Kirjolojen ruodot

Kaikissa fermentoiduissa ruotomassoissa havaittiin käsittelyiden jälkeen aerobisia mikrobeja, jotka toimivat hygieniaindikaattoreina (Taulukko 3.1c). Tämä viittaa siihen, että ruotomassojen stabilointi ei ole täysin onnistunut fermentoimalla tai edes yhdistämällä fermentointi happokäsittelyyn. Kaikissa ruotomassoissa havaittiin myös heti fermentoinnin jälkeen hiivoja. Happokäsitellyissä massoissa niitä ei kuitenkaan enää havaittu säilytyksen jälkeen (säilytyslämpötilasta riippumatta).

Taulukko 3.1c. Fermentoitujen ruotomassojen mikrobiologinen laatu.

	Fermentointi i	Fermentointi i + 1 kk RT	Fermentointi i + 1 kk kylmä	Happo + Fermentointi i	Happo + Fermentointi i + 1 kk RT	Happo + Fermentointi i + 1 kk kylmä
Aerobiset mikro- organismit 22°C	$> 2,5 \times 10^7$	$7,7 \times 10^5$	$4,1 \times 10^5$	$> 2,5 \times 10^7$	$< 10^4$	$< 10^4$
Aerobiset mikro- organismit 30°C	$> 2,5 \times 10^7$	$7,9 \times 10^7$	$1,2 \times 10^9$	$2,4 \times 10^8$	$2,3 \times 10^6$	$1,5 \times 10^8$
Anaerob. sulf. pelkistävät (klostridit)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Rikkivetyä tuottavat bakteerit	$< 10^4$	$< 10^4$	arv 9×10^4	$< 10^4$	$< 10^4$	$< 10^4$
Hiivat	$4,2 \times 10^5$	$6,0 \times 10^4$	$4,5 \times 10^4$	$4,2 \times 10^5$	< 10	< 10
Homeet	arv 150	arv 55	arv 520	< 10	< 10	< 10
<i>Salmonella</i>	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g
<i>Listeria monocytogenes</i>	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g

3.1.4 Villikalanäyte

Myös kaikissa fermentoiduissa villikalamassoissa havaittiin käsittelyiden jälkeen aerobisia mikrobeja, jotka toimivat hygieniaindikaattoreina (Taulukko 3.1d). Muutoin happo- ja fermentointikäsitellyt villikalamassat olivat mikrobiologisten analyysien perusteella säilyneet kohtalaisen hyvin.

Sen sijaan ilman happokäsittelyä fermentoidut villikalamassat havaittiin jo aistinvaraisen tarkastelun perusteella pilaantuneiksi fermentoinnin aikana, eikä niitä otettu enää säilyvyyskokeisiin.

Taulukko 3.1d. Fermentoitujen villikalamassojen mikrobiologinen laatu.

	Fermentointi	Fermentointi	Happo + Fermentointi	Happo + Fermentointi + 1 kk RT	Happo + Fermentointi + 1 kk kylmä
Aerobiset mikro- organismit 22°C	$> 2,5 \times 10^7$	$> 2,5 \times 10^7$	$> 2,5 \times 10^7$	$< 10^4$	$< 10^4$
Aerobiset mikro- organismit 30°C	$> 2,5 \times 10^7$	$> 2,5 \times 10^7$	$> 2,5 \times 10^7$	arv 2×10^7	$9,2 \times 10^8$
Anaerob. sulf. pelkistävät (klostridit)	< 10	arv 25	< 10	< 10	< 10
Rikkivetyä tuottavat bakteerit	$< 10^4$	$> 2,5 \times 10^7$	$< 10^4$	$< 10^4$	$< 10^4$
Hiivat	$4,4 \times 10^4$	$5,2 \times 10^6$	< 10	< 10	< 10
Homeet	$6,8 \times 10^4$	650	< 10	< 10	< 10
<i>Salmonella</i>	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g
<i>Listeria monocytogenes</i>	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g	Ei todettu /25 g

3.2 Käsittelyiden vaikutus näytteen aistinvaraisiin ominaisuuksiin

Aistinvaraisessa tarkastelussa todettiin, että fermentoidut kirjolohen suolimassat olivat melko miellyttävän tuoksuisia ja suoliaines oli hajonnut hyvin riippumatta siitä, oliko käytetty happokäsittelyä.

Ilman happokäsittelyä fermentoidut kirjolohen ruotomassat sisälsivät runsaasti nesteytymätöntä ainesta (Kuva 3.2a) ja niiden pinnassa esiintyi mikrobikasvua. Happo- ja fermentointikäsitellyt ruotomassat olivat hiukan paremmin nesteytyneet mutta niissä oli silti havaittavissa ruotoja ja nahkaa.

Ilman happokäsittelyä fermentoidut villikalamassat olivat silminnähden pilaantuneet fermentoinnin aikana (Kuva 3.2b). Niissä havaittiin mm. homekasvua, kaasunmuodostusta, erittäin epämiellyttävää hajua ja kelmumaista kasvustoa pinnassa. Happo- ja fermentointikäsitellyt villikalamassat olivat hiukan paremmin nesteytyneet kuin pelkällä fermentoinnilla käsitellyt mutta niissä oli silti havaittavissa ruotoja ja nahkaa.

Fermentoimalla käsitellyt kokonaiset norrit jouduttiin hävittämään fermentointikokeen jälkeen pilaantumisen vuoksi.



Kuva 3.2a. Kirjolohen ruotomassat n. kahden viikon käsittelyn jälkeen. Ylärivissä ilman happoa ja alarivissä hapon kanssa fermentoidut.



Kuva 3.2b. Villikalamassat n. kahden viikon käsittelyn jälkeen. Ylärivissä ilman happoa ja alarivissä hapon kanssa fermentoidut.

3.3 Maitohappofermentoitujen kalamassojen rehuominaisuudet

Käsittelyn kirjolohen suolimassan proteiinipitoisuus oli huomattavan paljon alhaisempi kuin ruoto- ja villikalamassoilla tai tyypillisillä kalatuotteilla (vertailuarvot) (Taulukko 3.3). Sen sijaan näkyvän rasvan dekantoinnista huolimatta rasvapitoisuus oli korkea. Korkean rasvapitoisuuden aiheuttamat näytteenoton haasteet voivat heikentää analyysituloksia. Eläinruokinnan kannalta korkea rasvapitoisuus on etu, kunhan rasvan säilyvyys saadaan taattua myös happo- ja fermentointikäsittelyn jälkeen. Tuote voisi sopia eläinruokintaan rasvalisäksi, joka tuo energiaa ja kalaöljyn edullisia terveysvaikutuksia.

Käsitellyissä kirjolohen ruodoissa oli proteiinia hiukan enemmän ja rasvaa puolestaan vähemmän kuin suolissa. Tuhkapitoisuus oli alle vertailuarvojen. Mikäli massan käsittely saadaan optimoitua ja mikrobiologinen laatu varmistettua, se voisi soveltua eläinruokintaan rasva- ja proteiinilisäksi.

Villikalamassassa oli käsittelyistä massoista eniten proteiinia ja kuitua. Tämä massa vastasi ominaisuuksiltaan eniten sekä kalajauhoa että haposäilöttyä kalaa (fish silage). Mikäli massan käsittely saadaan optimoitua ja mikrobiologinen laatu varmistettua, se voisi soveltua eläinruokintaan rasva- ja proteiinilisäksi.

3.4 Kalamassojen metaanintuottopotentiali

Metaanintuottopotentiali on teoreettinen enimmäismäärä metaanikaasua (CH₄), joka voidaan tuottaa tietystä määrästä raaka-ainetta. Käsiteltyjen kalamassojen metaanintuottopotentiali oli 496-733 ml CH₄/g VS, mikä on huomattavan korkea verrattuna esim. kasviperäisiin biomassoihin tai jätevesilietteisiin [1]. Tulokset ovat myös hyvin linjassa kirjallisuudessa kalajätteelle raportoitujen arvojen kanssa [2]. Tämän tutkimuksen perusteella fermentoitu ja happokäsittely kirjolohen suolimassa soveltuu sekä mikrobiologisen laadun että metaanintuottopotentialin osalta hyvin biokaasuprosessin syötteeksi (Taulukot 3.3 ja 3.4).

- 1) Aarras ym. 2017. Biokaasutuotantoon soveltuvien biomassojen materiaaliselvitys. Sweco.
- 2) Kafle ym. 2013. Ensiling of fish industry waste.. Bioresource technology, 127, 326-336.
- 3) Fish meal, protein 65%. <https://www.feedtables.com/content/fish-meal-protein-65>. Viitattu 26.11.2025.
- 4) Feedipedia. Fish silage. <https://www.feedipedia.org/node/203>. Viitattu 26.11.2025.

Taulukko 3.3. Kalamassojen ominaisuuksia happokäsittelyn ja fermentoinnin jälkeen. *
Kirjolohen suolista näkyvä rasva dekantoitu ennen käsittelyitä pois.

	Vertailuarvot		Tämä tutkimus		
	Kalajauho [3]	Fish silage [4]	Kirjolohen suolet *	Kirjolohen ruodot	Villikalanäyte
Raakaproteiini %	70,7	56	1,6	31,4	56,4
Raakakuitu %	0	n/a	1,4	n/a	4,4
Raakarasva %	10	n/a	97,8	56,3	9,3
Tuhka %	18,2	10,3	0,7	6,7	17,8
pH	n/a	n/a	4,1	4,4	4,3
Mikrobiologinen laatu	n/a	n/a	Hyvä	Keskitaso	Keskitaso

Taulukko 3.4. Metaanintuottopotentialit 30 vuorokauden fermentointikokeen jälkeen.
Taulukossa 3.3 kuvatut kalamassat lihavoitu. TS = syötteen kuiva-aine prosentteina, VS = syötteen orgaanisen kuiva-aineen määrä prosentteina kuiva-aineesta, VS/TS = orgaanisen aineen osuus kuiva-aineesta, ml CH₄/gVS = metaanintuottopotentiali

Näyte	TS %	VS %	VS/TS	ml CH ₄ /gVS
kirjolohen suolet, rasva erotettu, ei hapotettu	58,8	56,4	0,96	745 ± 11
kirjolohen suolet, rasva erotettu, hapotettu	91,3	90,4	0,99	611 ± 15
kirjolohen ruodot, ei hapotettu	39,8	32,5	0,82	827 ± 38
kirjolohen ruodot, hapotettu	44,6	39,8	0,89	733 ± 45
villikalan perkeet, ei hapotettu,	24,0	20,0	0,83	520 ± 26
villikalan perkeet, hapotettu	23,1	17,6	0,76	496 ± 27

4 KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET JA NIIDEN RAJOITTEET

4.1 Kalasivuvirtojen luokittelu ja yleiset käyttörajoitteet

Suomessa fermentoitujen kalasivuvirtojen käyttöä ohjaa ensisijaisesti EU:n sivutuoteasetus sekä kansallinen eläimistä saatavia sivutuotteita koskeva lainsäädäntö [1-4]. Näiden mukaan kalasivuvirrat luokitellaan eri sivutuoteluokkiin, mikä määrittää niiden sallitut käyttökohteet (Taulukko 4.1).

Sivutuoteluokkaan 1 kuuluvat kaikkein riskialttiimmat sivutuotteet, kuten TSE-riskiaineet (esim. naudan aivot ja selkäydin) sekä lemmikkieläimistä peräisin oleva jäte. Niitä ei saa käyttää rehussa, biokaasussa tai lannoitteissa, vaan ne on hävitettävä polttamalla tai käsittelemällä hyväksytyssä laitoksessa energiaksi. Luokan 1 käsittelylaitoksia on Suomessa vain yksi (Honkajoki Oy)[5].

Luokan 2 materiaaliin luetaan mm. eläimet, jotka eivät sovellu elintarvikkeeksi muiden kuin tautisyyden vuoksi, sekä lanta ja muut vastaavat sivuvirrat. Niitä ei saa käyttää elintarvikkeena tai rehuna, mutta ne voidaan hyödyntää esim. biokaasun ja kompostin tuotannossa, kunhan käsittely täyttää hygienisointivaatimukset.

Luokan 3 materiaali on vähäriskisintä ja sisältää esimerkiksi elintarviketuotantoon hyväksytyistä eläimistä peräisin olevat osat, joita ei käytetä ihmisravinnoksi (kuten kalan perkeet). Luokan 3 sivutuotteita voidaan käyttää laajasti esimerkiksi lemmikkiruoissa, turkiseläinten rehuissa, lannoitteissa sekä biokaasun tuotannossa, edellyttäen että ne käsitellään hyväksytyllä tavalla.

Taulukko 4.1. Eläinperäisten sivutuotteiden sivutuoteluokat.

Sivutuoteluokka	Kuvaus kalasivuvirtojen näkökulmasta	Sallitut käyttötavat
Luokka 1	Korkean riskin materiaali. Kalasivuvirta kuuluu tähän luokkaan vain, jos se on kontaminoitunut esim. TSE-riskimateriaalilla tai muulla vastaavalla syyllä. Käytännössä kalaa hyvin harvoin luokitellaan tähän luokkaan.	Ainoastaan hävittäminen: poltto, rinnakkaispoltto tai muu energiaksi hyödyntäminen hyväksytyssä laitoksessa.
Luokka 2	Ei ihmisravinnoksi kelpaava kala tai kalasivuvirta, joka ei täytä luokan 3 ehtoja. Myös esimerkiksi kuolleet luonnonvaraiset kalat, joita ei ole tarkoitettu elintarvikkeeksi, kuuluvat tähän luokkaan.	Biokaasun tuotanto, kompostointi, orgaanisten lannoitteiden valmistus hyväksytyissä laitoksissa. Ei elintarvike- tai rehukäyttöön.
Luokka 3	Elintarviketuotantoon hyväksytyistä kaloista peräisin olevat sivuvirrat, joita ei käytetä ihmisravinnoksi (esim. perkeet, päät, nahat, fileointijätteet). Tämä on yleisin kalasivuvirtojen luokka.	Lemmikkiruoaka, turkiseläinten rehu, kalarehu, bioenergia (biokaasu), lannoitteet. Hygienisointivaatimukset on täytettävä.

1. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009, 21 päivänä lokakuuta 2009.
2. Komission asetus (EU) N:o 142/2011.
3. Ruokavirasto. Eläimistä saatavat sivutuotteet. <https://www.ruokavirasto.fi/teemat/elaimista-saatavat-sivutuotteet/>
4. Ruokavirasto 2022. Eläimistä saatavien sivutuotteiden käsittely ja valvonta hyväksytyissä elintarvikehuoneistoissa. Ohje 1746/04.02.00.01/2020/8.
5. Ruokavirasto 2024. Ohjeita sivutuotteiden toimittamisesta jatkokäyttöön. Ohje 4304/04.02.00.01/2024/2.

4.2 Käyttö elintarvikkeissa tai eläinten ruokinnassa

4.2.1 Käyttö elintarvikkeissa

Jos kala tai sen osat halutaan käyttää elintarvikkeeksi, niitä ei saa luokitella eläinperäiseksi sivutuotteeksi lainkaan [1]. Heti kun materiaali siirretään sivutuoteluokitukseen (luokat 1–3), sitä ei enää voi palauttaa elintarvikeketjuun. Käytännössä tämä tarkoittaa, että fermentoidun kalamassan käyttö elintarviketeollisuudessa on mahdollista vain silloin, kun lähtöaine on alun perin käsitelty ja hyväksytty elintarvikelaatuisena kalana (esim. perkeet, päät, nahat, joita ei haluta käyttää fileinä mutta jotka ovat koko ajan olleet elintarvikevalvonnan piirissä). Jos sama materiaali olisi ilmoitettu tai käsitelty eläinperäisenä sivutuotteena, se olisi suljettu pois elintarvikekäytöstä pysyvästi.

4.2.2 Käyttö eläinten ruokinnassa

Ruokaviraston mukaan sisävesialueelta peräisin olevia luokan 3 kalasivutuotteita voidaan käyttää lemmikkieläinten, turkiseläinten ja tarhakoirien rehun raaka-aineena [1-2]. Tällainen materiaali on ennen käyttöä hygienisoitava hyväksytyllä menetelmällä, tavallisimmin kuumentamalla vähintään 90 °C:ssa 60 minuutin ajan. Jatkojalostus saa tapahtua vain Ruokaviraston hyväksymässä rehu- tai lemmikkiruokatehtaassa, jossa on asianmukainen omavalvonta.

Fermentointi voi toimia väliaikaisena säilöntäkeinona, mutta se ei korvaa virallista hygienisointia, ja laitoksen vastuulla on huolehtia siitä, että materiaali pysyy mikrobiologisesti hallinnassa käsittelyyn asti. Prosessoinnin kannalta fermentoidun kalamassan on kestettävä lämpökäsittely ja mahdollinen ekstruusio ilman, että sen laatu heikkenee liikaa, ja sen pH:n ja vesipitoisuuden on oltava hallinnassa säilyvyyden takaamiseksi.

Useimmin mainittu rehukäyttökohde kalasivuvirroille on turkistuotanto, johon happokäsitelty kalamassa soveltuu hyvin [1]. Toinen suhteellisen paljon tutkittu käyttökohde on kalatalous. Fermentoidun kalamassan on todettu parantavan sekä rehun ravitsemuksellisia ominaisuuksia että ruokittavien kalojen suoliston mikrobistoa,

vaikuttaen näin kokonaisvaltaisesti niiden terveyteen [3]. Fermentoitujen kalasivuvirtojen käyttöä muiden tuotantoeläinten rehuissa on tutkittu jonkin verran. Tulosten perusteella fermentoitu kalajäte soveltuu sekä siipikarjan [4-5] että sikojen ruokintaan [6]. Yleisesti voidaan tutkimuksien perusteella todeta, että kalajätteen fermentointi vähentää rehukäyttöön liittyvää pilaajamikrobien riskiä ja parantaa säilyvyyttä sekä voi tuoda rehuun ravitsemuksen kannalta edullisia ominaisuuksia.

Tämän tutkimuksen perusteella ainakin happo- ja fermentointikäsitelty kirjolohen suolimassa oli mikrobiologisesti hyvälaatuisia ja siten soveltuisi lemmikkiruuun raaka-aineeksi. Hapon käytöllä on kuitenkin epäedullisia vaikutuksia rehukäytössä, etenkin lemmikkiruuissa. Tutkimusten mukaan happokäsittely heikentää kalamassan aminohappokoostumusta ja muuttaa sen sensorisia ominaisuuksia [7]. Lisäksi happamien massojen käsittelyyn liittyy yleisesti aina teknisiä haasteita, kuten laitteiden kuluminen.

1. Ruokavirasto. Eläimistä saatavat sivutuotteet. <https://www.ruokavirasto.fi/teemat/elaimista-saatavat-sivutuotteet/>
2. Toppe & Olsen 2024. Fish silage production by fermentation. Food and Agriculture Organization of The United Nations Rome.
3. Maksimenko ym. 2024. Exploring sustainable... Fermentation, 10(5), 258.
4. Shabani ym. (2018). Preparation of fish waste silage and its effect on the growth performance and meat quality of broiler chickens. Journal of the Science of Food and Agriculture, 98(11), 4097-4103.
5. Abun ym. (2025). Evaluation of the nutritional value of fermented pangasius fish waste and its potential as a poultry feed supplement. Veterinary World, 18(2), 355.
6. Wen-tian ym. (2023). Effect of fish source fermented feed protein on growth performance and meat quality of pigs. Feed Research, 46(24).
7. Arvanitoyannis, I. S., & Kassaveti, A. (2008). Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses. International Journal of Food Science and Technology, 43(4), 726-745.

4.3 Käyttö muissa kohteissa

4.3.1 Käyttö biokaasun tuotannossa

Kalajätteen käyttö biokaasun tuotannossa perustuu sen korkeaan proteiini- ja rasvapitoisuuteen [1]. Kuten muissakin käyttökohteissa, kalamassan happo- ja fermentointikäsittelyllä aikaansaatu säilyvyys helpottaa syötteen logistiikkaa ja varastointia. Tämän tutkimuksen ja muiden raporttien mukaan kalajätteen metaanintuottopotentiaali on huomattavasti korkeampi kuin esimerkiksi lantabiomassoilla [1]. Käytännössä kalajäte soveltuu siis hyvin sekä pääsyötteenä että ”boost-aineeksi” yhdessä muiden materiaalien, kuten lannan tai biojätteen, kanssa. Korkea proteiini- ja rasvapitoisuus voivat kuitenkin aiheuttaa prosessin epävakautta (esim. ammoniakki- tai pitkäketjuisten rasvahappojen kertymistä), joten optimaalinen annostelu ja seossuhteet ovat tärkeitä [1-2].

4.3.2 Käyttö biodieselin tuotannossa

Biodieselin tuotannossa hyödynnetään kalajätteen sisältämää rasvaa, joka voidaan kemiallisen transesteröinnin avulla muuntaa rasvahappo-metyyliestereiksi (FAME), eli hyvälaatuiseksi uusiutuvaksi dieseliksi [3]. Kalajätteestä erotettu kalaöljy on usein sivutuote kalanjalostuksesta, ja sen laatu voi vaihdella kalalajin, osien ja käsittelymenetelmän mukaan. Rasvojen hyödyntäminen energiantuotannossa lisää kalajätteen arvoa ja tarjoaa uusiutuvan vaihtoehdon fossiilisten polttoaineiden tilalle. Biodieselin valmistuksessa on kuitenkin huomioitava öljyn puhdistus, happamuus ja mahdolliset epäpuhtaudet (esim. fosfolipidit, proteiinijäämät), jotka voivat häiritä prosessia [4].

4.3.3 Käyttö maanparannusaineena

Kalajätteen käyttö maanparannusaineena perustuu sen sisältämiin ravinteisiin, erityisesti typpeen, fosforiin ja kalsiumiin, joita saadaan esimerkiksi ruodoista ja päistä. Kun kalasivuvirrat käsitellään asianmukaisesti, niistä voidaan valmistaa orgaanisia lannoitteita ja maanparannustuotteita [6]. Tällaiset tuotteet parantavat maaperän ravinnepitoisuutta ja tukevat maaperän mikrobitoimintaa, mikä voi lisätä sadon laatua ja määrää. Suomessa ja muualla EU:ssa kalaperäisten maanparannusaineiden käyttö on

mahdollista vain, jos raaka-aine on luokiteltu luokkaan 2 tai 3 ja se on käsitelty hyväksytyllä tavalla niin, ettei siitä aiheudu riskiä eläinten tai ihmisten terveydelle (Taulukko 4.3)[5-6]. Käytännössä kalajätteestä valmistetut maanparannusaineet soveltuvat erityisesti luomuviljelyyn ja puutarhatalouteen, missä arvostetaan orgaanisia ravinteita ja kiertotalouden periaatteiden mukaista resurssien hyödyntämistä.

Taulukko 4.3. Lainsäädännön rajoitukset koskien kalasivuvirtojen käyttöä maanparannusaineena.

Sivutuote-luokka	Kuvaus kalajätteen osalta	Sallitut käyttötavat maanparannuksessa
Luokka 1	Korkean riskin materiaali (esim. TSE-riskiaineet). Kala kuuluu tähän vain poikkeustapauksissa.	Ei saa käyttää maanparannusaineena; ainoastaan hävittäminen poltossa tai energiaksi.
Luokka 2	Ei ihmisravinnoksi kelpaava kala tai luonnossa kuolleet kalat.	Voidaan käyttää orgaanisten lannoitteiden ja maanparannusaineiden valmistukseen, jos käsitelty hyväksytyllä tavalla (kompostointi, biokaasu, hygienisointi).
Luokka 3	Elintarviketuotantoon hyväksytyistä kaloista peräisin olevat sivuvirrat (esim. perkeet, päät, nahat).	Sallittu orgaanisten lannoitteiden ja maanparannusaineiden valmistukseen hyväksytyissä laitoksissa käsittelyn jälkeen.

1. Aarras ym. 2017. Biokaasutuotantoon soveltuvien biomassojen materiaaliselvitys. Sweco Tampere/Turku.
2. Kafle ym. 2013. Ensiling of fish industry waste.. Bioresource technology, 127, 326-336.
3. Ali ym. 2025. Performance and Environmental Sustainability of Fish Waste Biodiesel on Diesel Engines. Sustainability, 17(12), 5385.
4. Pydimalla ym. 2023. Sustainable biodiesel: A comprehensive review on feedstock, production methods, applications, challenges and opportunities. Materials Today: Proceedings, 92, 458-464.
5. Ruokavirasto. Eläimistä saatavat sivutuotteet. <https://www.ruokavirasto.fi/teemat/elaimista-saatavat-sivutuotteet/>
6. Ruokavirasto. Eläimistä saatavien sivutuotteiden käyttö lannoitevalmisteissa. <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/kierratysravinteet/elaimista-saatavat-sivutuotteet/>

5 VAIHTOEHTOISTEN KÄSITTELYTAPOJEN VERTAILU

5.1 Käsittelytapojen kuvaus

Tämän tutkimuksen ja aiemmissa kappaleissa käsitellyn kirjallisuuden perusteella kalasivuvirtojen hyödyntämiseen on useita realistisia prosessivaihtoehtoja, joista jokainen tuottaa erilaisia tuotteita. Maitohappofermentointi ilman happokäsittelyä voi stabiloida massaa riittävästi esimerkiksi biokaasukäyttöön. Maitohappofermentointi happokäsittelyn kanssa tehostaa säilyvyyttä ja varmistaa haitallisten mikrobien hallinnan paremmin, mikä lisää jatkokäyttömahdollisuuksia. Rasvan erotus suolista yhdistettynä happokäsittelyyn ja fermentointiin tuottaa kalaöljyä ja fermentoitua massaa, jota voidaan hyödyntää energiantuotannossa tai rehussa. Proteiinihydrolysaatin valmistus ruodoista puolestaan muuttaa sivuvirran nestemäiseksi hydrolysaattituotteeksi, jota voidaan käyttää rehun tai lannoitteiden raaka-aineena. Oletus on, että stabiloinnin jälkeen massoja voidaan säilyttää huoneenlämmössä 30 vuorokauden ajan mikäli vaihtoehdon kohdalla ei erikseen mainita kylmäsäilytystä.

Tämän työn tulosten ja Maconin asiantuntijoiden näkemyksen perusteella on kuvattu vaihtoehtoiset käsittelyratkaisut ja niiden teknistaloudelliset laskelmat. Laskelmat perustuvat vakioiduille määrille ruotoja (900 t/a) ja suolia (100-150 t/a), jolloin kokonaissyöte on konseptista riippuen n. 1025–1048 t/a. Seuraavassa on esitetty jokaisesta vaihtoehdosta lyhyt tiivistelmä. Tarkastelut ja niiden sisältämät laskentaperusteet on esitetty tarkasti liitteessä 1. Vaihtoehtojen yksinkertaistetut periaatekuvat on esitetty kuvissa 5.1a-c. Vaihtoehtojen yhteenveto on esitetty taulukossa 5.1a ja teknistaloudellisten arvioiden yhteenveto taulukossa 5.1b.

Vaihtoehto 1 Biokaasubuusteri (ei-hygienisoitu)

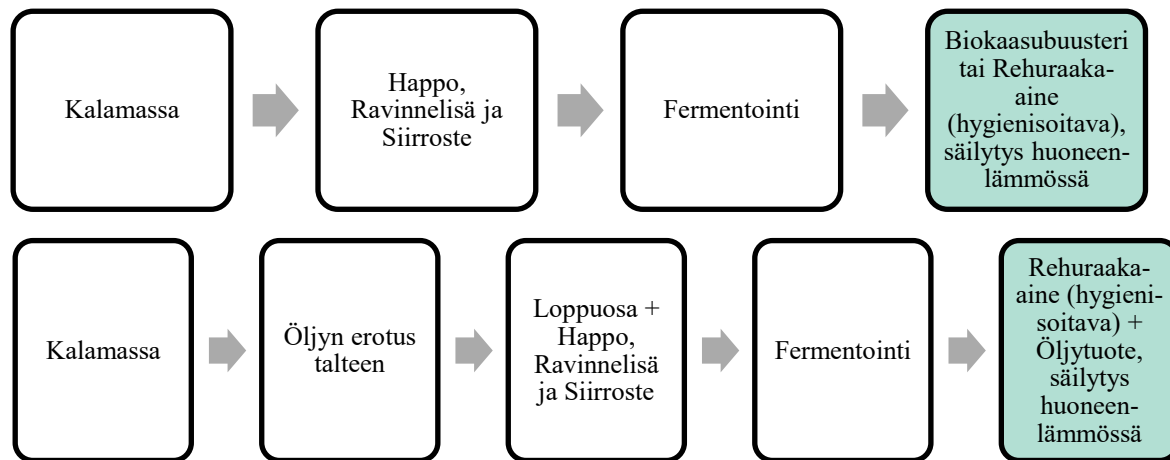
Tässä vaihtoehdossa kalasivuvirta käsitellään hapolla ja fermentoimalla, jolloin muodostuu stabiili kalamassa, jota voidaan käyttää biokaasulaitoksen syötteenä. Teknologian periaate on yksinkertainen eikä vaadi lämpökäsittelyä. Tuote parantaa biokaasuprosessin metaanintuottoa ja toimii siten “biokaasubuusterina”. Vaihtoehdon taloudellinen potentiaali on maltillinen, koska myyntiarvo sidotaan kaasun markkinahintaan (TTF) ja arvonjakosopimukseen. Kannattavuus riippuu eniten kaasun hinnasta ja siitä, hyväksyykö biokaasulaitos maksullisen syötteen.

Vaihtoehto 2 Stabiloitu rehuraaka-aine (ei-hygienisoitu)

Myös tässä vaihtoehdossa kalasivuvirta käsitellään hapolla ja fermentoimalla, jolloin muodostuu stabiili kalamassa rehuraaka-aineeksi. Ostajan tulee hygienisoida tuote ennen käyttöä. Teknologian periaate on yksinkertainen eikä vaadi lämpökäsittelyä. Vaihtoehdon taloudellinen potentiaali on kohtalainen (takaisinmaksuaika n. 7 vuotta), mutta riippuu vahvasti ostajan maksuhalukkuudesta (120–160 €/t) ja kemikaalikustannuksista. Sähkön ja happojen hinnat vaikuttavat suoraan kannattavuuteen.

Vaihtoehto 3 Stabiloitu rehuraaka-aine ja öljytuote (ei hygienisoitu)

Tämä vaihtoehto eroaa edellisistä siten, että suolimassan öljy otetaan ensin talteen. Muutoin edetään kuten vaihtoehdossa 2 ja rehuraaka-aineen ostajan tulee hygienisoida tuote ennen käyttöä. Vaihtoehdon taloudellinen potentiaali on melko hyvä (takaisinmaksuaika n. 5-6 vuotta), mutta riippuu vahvasti ostajan maksuhalukkuudesta (120–160 €/t) ja kemikaalikustannuksista. Kalaöljyn markkinahinta ja öljyn saanto vaikuttavat suoraan kannattavuuteen.



Kuva 5.1a Vaihtoehtojen 1-2 (ylempi) ja vaihtoehdon 3 yksinkertaistetut periaatekuvat.

Vaihtoehto 4 Rehuraaka-aine (hygienisoitu)

Tässä vaihtoehdossa kalamassa hygienisoidaan kuumentamalla vähintään 90 °C:ssa 60 minuutin ajan, mikä tekee siitä virallisesti rehukelpoisen. Tämä on teknisesti yksinkertaisin ja edullisin tapa tuottaa rehu- tai lemmikkiraaka-ainetta. Tuote voidaan myydä suoraan rehuteollisuuteen (200 €/t), ja takaisinmaksuaika on lyhyt (n. 1,5 vuotta). Teknistaloudellinen potentiaali on korkea, ja tulos riippuu lähinnä sähkön hinnasta sekä siitä, saadaanko hyväksytty rehulaitosstatus.

Vaihtoehto 5 Pakasteblokki (ei hygienisoitu)

Tässä vaihtoehdossa murskattu kalamassa jäädytetään 10 kg blokkeina ja varastoidaan pakastelämpötilassa (−20 °C). Teknologia perustuu mekaaniseen pakastukseen ja logistiikkahallintaan ilman lämpökäsittelyä. Tuote soveltuu B2B-myyntiin esimerkiksi syötiksi, lisäaineeksi tai jatkojalostukseen. Taloudellinen potentiaali on kohtalainen (takaisinmaksuaika n. 4–6 vuotta), mutta riippuu vahvasti energian hinnasta ja varastointikustannuksista. Myyntihinta (150–250 €/t) ratkaisee kannattavuuden.

Vaihtoehto 6 Pakasteblokki (hygienisoitu)

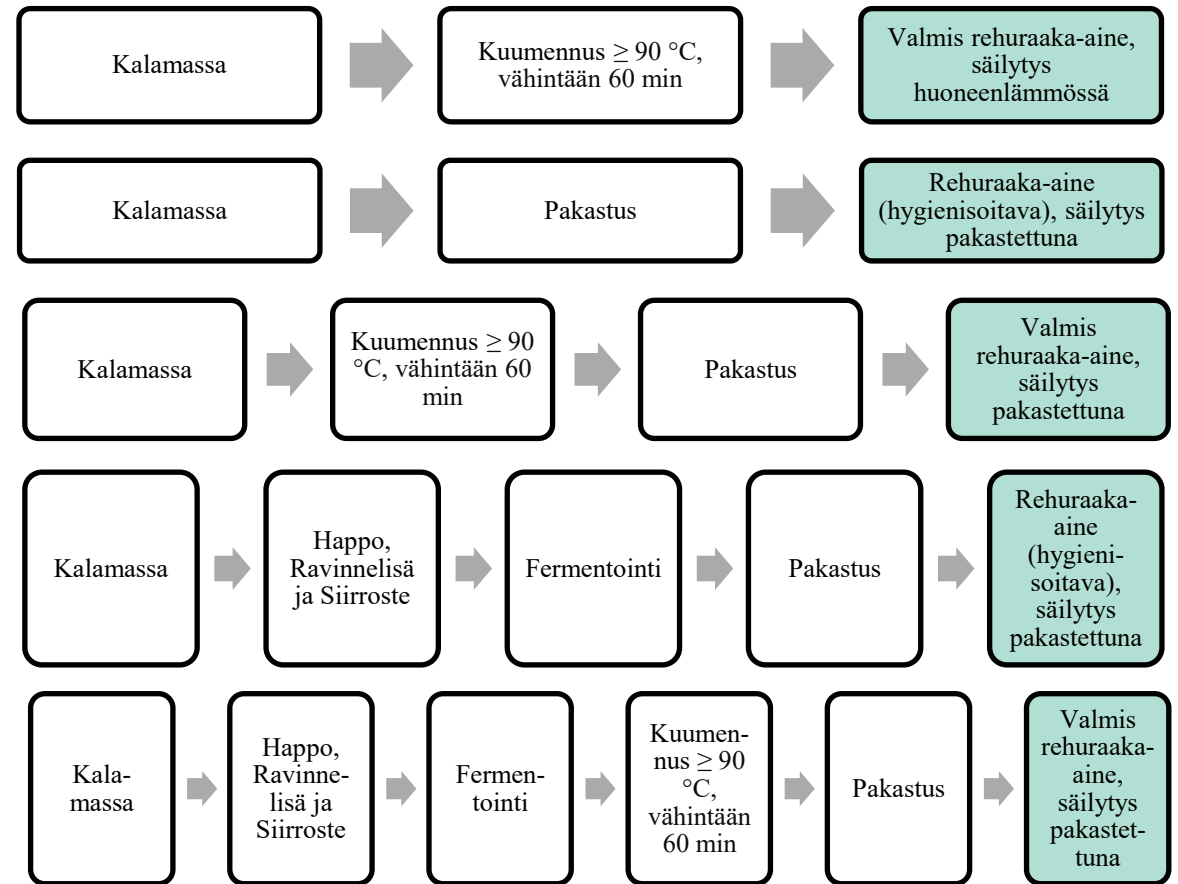
Tämä vaihtoehto yhdistää hygienisoinnin (lämpökäsittely ≥ 90 °C/60 min) ja pakastuksen, jolloin syntyy pitkäikäinen, hygieeninen raaka-aine rehu- ja lemmikkiteollisuuteen. Tuotteen arvo (300 €/t) kompensoi korkean energian ja investoinnin (900 k€). Arvioitu takaisinmaksuaika on 4 vuotta. Vaihtoehdon kannattavuus riippuu myyntihinnasta ja sähkön kustannuksesta.

Vaihtoehto 7 Stabiloitu pakasteblokki (ei hygienisoitu)

Tässä vaihtoehdossa yhdistetään happo- ja fermentointikäsittely ja pakastus ilman hygienisointia. Vaihtoehto tuottaa mikrobiologisesti stabiilin, mutta ei rehuvalmiin tuotteen, joka soveltuu jatkokäsiteltäväksi. Vaihtoehdon CAPEX on korkea ja kannattavuus verrattain heikko (takaisinmaksuaika 9–15 vuotta), koska tuotteen arvo jää alle hygienisoidun version.

Vaihtoehto 8 Stabiloitu rehuraaka-aine, pakasteblokki (hygienisoitu)

Tässä vaihtoehdossa yhdistetään happo- ja fermentointikäsittely, hygienisointi (lämpökäsittely ≥ 90 °C/60 min) ja pakastus. Vaihtoehto tuottaa korkealaatuista sekä rehu- sekä lemmikkiruokastandardit täyttävän rehuraaka-aineen, joskin lemmikkiruokakäyttö voi vaatia hapon määrän optimoinnin. Vaihtoehdon CAPEX on korkea (1,41 M€), mutta taloudellinen potentiaali hyvä (takaisinmaksuaika 5–8 vuotta). Kannattavuus riippuu myyntihinnasta (300–400 €/t) ja energiatehokkuudesta.



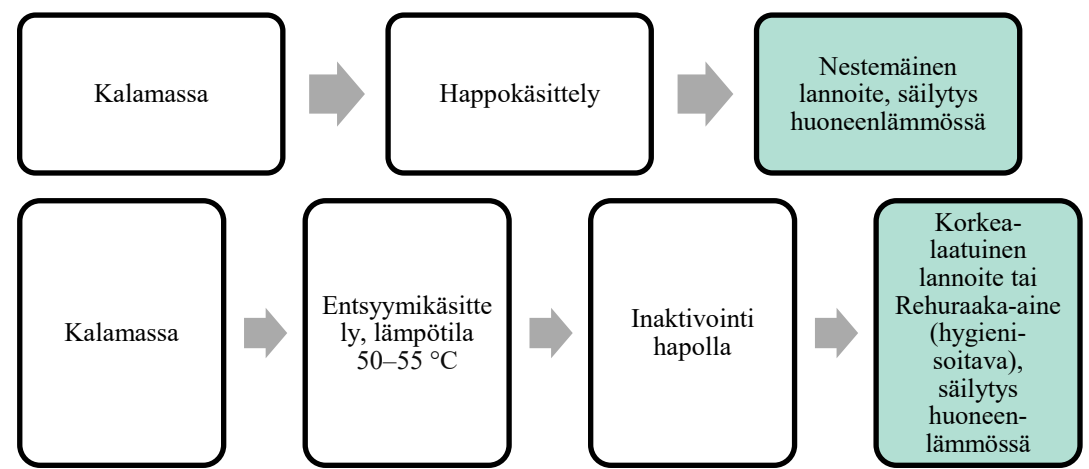
Kuva 5.1b Vaihtoehtojen 4-8 yksinkertaistetut periaatekuvat numerojärjestyksessä.

Vaihtoehto 9 Happohydrolysaatti (nestemäinen lannoite)

Tässä vaihtoehdossa kalasivuvirta stabiloidaan ja nesteytetään muurahaishapolla (1,5–2,5 %) pumpattavaksi nesteeksi. Teknologia on yksinkertainen sisältäen kemiallisen hydrolyysin ja pH:n laskun ilman lämpökäsittelyä. Tuote soveltuu suoraan nestemäiseksi lannoitteeksi ja sen myyntihinta on n. 400 €/t. Taloudellinen potentiaali on korkea (takaisinmaksuaika 2,7 vuotta), ja kannattavuus riippuu happokustannuksista ja lannoitemarkkinoiden hintatasosta.

Vaihtoehto 10 Entsymaattinen hydrolysaatti (fish protein hydrolysate, FPH)

Tässä vaihtoehdossa käytetään entsyymäistä hydrolyysiä (proteaasi 0,1–0,5 %) lämpötilassa 50–55 °C, minkä jälkeen reaktio inaktivoidaan ja tuote stabiloidaan hapolla. Teknologia tuottaa hajuttoman, korkealaatuisen tuotteen, jota voidaan käyttää lannoitteena tai rehun lisäaineena. Investointikustannus on samalla tasolla kuin Vaihtoehdossa 9 mutta entsyymien käyttö nostaa käyttökustannuksia hiukan. Vaihtoehdon taloudellinen potentiaali on hyvä (takaisinmaksuaika 3 vuotta), ja se riippuu entsyymien hinnasta ja tuotteelle saatavasta hinnasta (400 €/t tai enemmän).



Kuva 5.1c Vaihtoehtojen 9-10 yksinkertaistetut periaatekuvat numerojärjestyksessä.

Taulukko 5.1a Vaihtoehtojen yhteenveto.

#	Vaihtoehto / tuote	Tyyp. kanava	Tuotetta (t/a)
1	Biokaasubuusteri	Fermentoitu kalasivuvirta biokaasun tuotantoon	1 025
2	Stabiloitu rehuraaka-aine, ei-hygienisoitu	Rehuteollisuuden välivaihe, ostaja hygienisoi	1 048
3	Stabiloitu rehuraaka-aine, ei-hygienisoitu + Öljytuote	Rehuteollisuuden välivaihe, ostaja hygienisoi Öljytuote omalla sopimuksella	1048 (Öljy 22,5)
4	Rehuraaka-aine, hygienisoitu	Suoraan rehuteollisuudelle	1 025
5	Pakasteblokki, ei hygienisoitu	B2B-kanavaan (esim. syötti, jatkojalostus)	1 025
6	Pakasteblokki, hygienisoitu	Rehu/lemmikkiraaka-aine, valmis tuote	1 025
7	Stabiloitu pakaste, ei hygienisoitu	Ostaja hygienisoi; pitkä varastointi	1 025
8	Stabiloitu ja hygienisoitu pakaste	Premium rehu/lemmikki; vientiin	1 025
9	Happohydrolysaatti (nestemäinen lannoite)	Lannoite (bulkki)	900
10	Entsymaattinen hydrolysaatti (FPH)	Lannoite (entsyymäattinen)	900

Taulukko 5.1b Yhteenveto vaihtoehtojen teknistaloudellisesta arviosta. TMA = Takaisinmaksuaika.

#	Vaihtoehto / tuote	CAPEX (k€)	OPEX (€/t)	Myyntihinta (€/t)	Vuosikate (k€/a)	TMA (v)	Huomioita
1	Biokaasubuusteri	345	49	45-62	11	31	- Biomassapotentiaalin perusteella happo- ja fermentointikäsitellyn suolimassan hinta biokaasubuusterina olisi n. 60 €/t - Takaisinmaksuaika on pitkä
2	Stabiloitu rehuraaka-aine, ei-hygienisoitu	535	67	140	76	7	- Stabiloitu välituote, ei vielä “valmis rehu” - Happo voi heikentää käyttöpotentiaalia lemmikkiruokatuotannossa - Hygienisointi vaaditaan
3	Stabiloitu rehuraaka-aine, ei-hygienisoitu + Öljytuote	615	69	Rehu 140 + Öljy 1050-1700	98-113	5,4-6,3	- Öljyn erotus ja myynti lisää kannattavuutta n. 20–40 k€/a - Sopimukset öljyn myynnistä olennaisia - Happo voi heikentää rehuraaka-aineen käyttöpotentiaalia lemmikkiruoissa - Hygienisointi vaaditaan
4	Rehuraaka-aine, hygienisoitu	250	36,6	200	167	1,5	- Alin CAPEX - Ei happoa, joten hyvä soveltuvuus lemmikkiruokiin - Nopein reitti markkinoille
5	Pakasteblokki, ei hygienisoitu	750 (FS-base) 550 (FS- lean)	69 (FS-Base) 76,5 (FS- lean)	200	134	5,6 / 3,9	- Varastointijousto - FS-Base: suositus, sisältää omat kylmävarastot; FS-Lean: pieni oma varasto + vuokratut - Ei happoa, joten hyvä soveltuvuus lemmikkiruokiin - Hygienisointi vaaditaan
6	Pakasteblokki, hygienisoitu	900	95,6	300	210	4,3	- Pakastus pidentää myynti-ikkunaa - Ei happoa, joten hyvä soveltuvuus lemmikkiruokiin - Hygienisoitu, valmis tuote
7	Stabiloitu pakaste, ei hygienisoitu	1 290	114,7	250	139	9,3	- Pakastus pidentää myynti-ikkunaa mutta hygienisointi vaaditaan - Happo voi heikentää rehuraaka-aineen käyttöpotentiaalia lemmikkiruoissa - Fermentointi tuo rehulle hyviä ominaisuuksia
8	Stabiloitu ja hygienisoitu pakaste	1 410	140,2	400	266	5,3-8,6	- Hygienisoitu, valmis tuote - Fermentointi tuo rehulle hyviä ominaisuuksia - Happo voi heikentää rehuraaka-aineen käyttöpotentiaalia lemmikkiruoissa, joten määrän optimointi tarvitaan
9	Happohydrolysaatti (nestemäinen lannoite)	785	80	400	288	2,7	- Yksinkertainen prosessi, jolla korkeahko kate - Tuote soveltuu nestemäiseksi lannoitteeksi
10	Entsyaattinen hydrolysaatti (FPH)	785	110	400	261	3	- Tasalaatuinen ja hajuton tuote, jolla useita käyttökohteita - Entsyymikustannus vaikuttaa käyttökustannuksiin - Tuotteen laatu-premio vaikuttaa kannattavuuteen

5.2 Asiantuntijahaastattelu

Kalasivuvirtojen käsittelyistä ja markkinoista pyydettiin näkemys ulkopuoliselta asiantuntijalta, joka tuntee hyvin sivutuotteiden käyttöä ja markkinoita [1].

5.2.1 Käsittelytavat

Asiantuntijan mukaan kalasivuvirtojen heikko säilyvyys on suurin haaste niiden hyödyntämiselle. Kalan rasva hapettuu nopeasti. Hapettumista voidaan estää käyttämällä antioksidantteja (luonnolliset tai synteettiset antioksidantit). Synteettiset antioksidantit (mm. propyyliigallaatti) ovat halvempia kuin luonnon antioksidantit (mm. E-vitamiini) mutta niiden käyttö voi olla rajoitettua. Esimerkiksi lemmikkiruokatuotannossa ollaan tämän suhteen tarkkoja, eikä lopputuotteissa saa olla synteettisiä antioksidantteja. Antioksidantit eivät auta enää, jos hapetus ehtii käynnistyä, joten niiden käytön ajoitus on tärkeää.

Käytännössä kalasivuvirta kannattaa jäähdyttää (pakastaa) mahdollisimman nopeasti. Hapetus on ongelmallista, koska hapotetut sivuvirrat eivät ole houkuttelevia eläinruokinnassa. Jotkut laitokset eivät ota vastaan hapotettuja massoja ollenkaan, sillä ne pilaavat laitteet ajan myötä.

5.2.2 Markkinat

Asiantuntijan näkemyksen perusteella sisävesiltä saataville dioksiinivapaille kalasivuvirroille on kysyntää, mikäli sivuvirrat saadaan säilöttyä nopeasti mieluiten ilman happokäsittelyä eli käytännössä pakastettuna. Kalan rasvalla on käyttöä lemmikkiruokateollisuudessa, johtuen sen edullisista vaikutuksista terveyteen. Huonompilaatuinen rasva kelpaa yleisesti ottaen aina biopolttoainetuotantoon.

5.3 Yhteenveto esitetyistä vaihtoehtoista

Hankkeessa tarkastellut kymmenen käsittelyvaihtoehtoa muodostavat kolme päälinjaa tuotteiden mukaan: i) energiatuotteet (vaihtoehto 1), ii) rehuraaka-aineet ja proteiinituotteet (vaihtoehdot 2–8) sekä iii) lannoite- ja hydrolysaattituotteet (vaihtoehdot 9–10). Teknologisesti vaihtoehdot vaihtelevat yksinkertaisesta pakastuksesta tai kuumennuksesta monivaiheiseen happokäsittely/fermentointi–

hygienisointi–pakastus -prosessiin, mikä vaikuttaa investointi- ja käyttökustannuksiin ja asettaa vaatimuksia tuotteen loppuhinnalle.

Markkinoille pääsyn kannalta lannoitetuotteet ovat helpoimmin toteutettavia (ei laitoshyväksyntää), kun taas biokaasu- ja rehuketjun tuotteet vaativat viranomaisprosessin (hyväksytty käsittelymenetelmä, hygienisointi ja omavalvonta). Toisaalta rehumarkkinoilla tuotteen arvo on moninkertainen verrattuna energia- tai lannoitekäyttöön, mikä tarjoaa pitkällä aikavälillä paremman tuottopotentialin. Tässä työssä esitettyjen käsittelytapojen päävaiheiden edut ja haasteet on kuvattu seuraavassa.

5.3.1 Happo- ja fermentointikäsittely

Maitohappofermentointi parantaa tutkimusten mukaan kalasivuvirtojen rehuominaisuuksia ja auttaa stabiloimaan niitä säilönnän ja kuljetuksen ajaksi. Pelkkä fermentointikäsittely ilman hapotusta ei tämän työn tulosten perusteella stabiloi kalamassoja riittävästi. Happokäsittelyn ongelma taas on sen vaikutus tuotteen käytettävyyteen esimerkiksi lemmikkiruuiissa. Happo- ja fermentointikäsittely nostaa tuotteen hintaa, joten sen lisäarvo tulisi selvittää myös hyödyntäjien näkökulmasta. Käsittelyyn liittyy tutkimus- ja kehitystarpeita, joita on käsitelty seuraavassa osassa.

5.3.2 Pakastus

Nopea jäähdytys ja pakastus on tehokas tapa stabiloida kalamassa ja säilöä se kuljetusta ja jatkokäyttöä varten. Pakastus estää rasvan hapettumisen ja on haastatellun asiantuntijan mukaan järkevää. Pakastus vaatii kuitenkin tilaa ja vie energiaa. Lisäksi se kasvattaa kuljetuskustannuksia.

5.3.3 Hygienisointi

Hygienisointi on selkeä arvonnousutekijä, sillä sen avulla voidaan päästä suoraan rehuteollisuuden raaka-aineisiin. Ilman hygienisointiakin on mahdollista tuottaa rehuraaka-aineita mutta ostajan täytyy hygienisoida ne omissa tiloissaan. Hygienisointi toteutetaan käytännössä kuumentamalla, joten sekin vaatii tilaa ja vie energiaa.

1. Haastattelu 13.8.2025. Haastateltavan nimeä ja organisaatiota ei julkaista. Tiedot on ilmoitettu tilaajalle.

5.4 Käsittelytapojen vertailu

Käsittelytapojen yksiselitteinen vertailu on haastavaa, sillä jokaisella esitetyistä vaihtoehtoista on etunsa ja haasteensa – tilanteesta ja tavoitteista riippuen. Vaihtoehtojen vertailu on kuitenkin tärkeää, jotta pystytään tunnistamaan mahdolliset jatkokehitysaihiot. Sen vuoksi tätä työtä varten laadittiin arviointikriteeristö, jossa yhdistetään taloudelliset näkökulmat, markkinakelpoisuus ja toisaalta käytännön toteutettavuus (Taulukko 5.4a).

Vaihtoehtojen houkuttavuus vaihtelee suuresti sen mukaan, kuinka suuri painoarvo eri kriteereille annetaan. Esitetyssä vertailussa päädyttiin antamaan eniten painoarvoa investointikustannusten tasolle sekä tuotteen arvolle ja markkinakelpoisuudelle, jotka kumpikin ovat olennaisia liikeidean elinkelpoisuuden kannalta. Myös paikalliselle jalostusarvon nousulle annettiin melko suuri painoarvo peilaten hankkeen tavoitteisiin.

Vaihtoehtojen vertailu on esitetty taulukossa 5.4b. Vertailun perusteella hygienisoitu rehuraaka-aine (vaihtoehto 4) ja happohydrolysaatti (vaihtoehto 9) ovat kokonaistaloudellisesti vahvimmat ratkaisut. Molemmat yhdistävät kohtuullisen investointitason, nopean takaisinmaksun ja realistisen markkinapotentiaalin. Hygienisoitu rehuraaka-aine tarjoaa parhaan kokonaispistemäärän erityisesti rehuteollisuuden näkökulmasta, mutta sen käyttöönotto edellyttää hyväksyttyä ABP-laitosstatusta. Happohydrolysaatti puolestaan on helppo toteuttaa pienimuotoisesti ja soveltuu hyvin lannoitekäyttöön ilman lisälupia.

Rasvan erotus + fermentointi (vaihtoehto 3) ja entsyymaattinen hydrolysaatti (vaihtoehto 10) sijoittuvat seuraavaksi. Niiden kummankin vahvuutena on etenkin korkea paikallinen jalostusarvo ja mahdollisuus tuottaa korkealaatuista tuotetta. Näiden vaihtoehtojen pitkän aikavälin potentiaali on merkittävä, vaikka käyttökustannukset ja tekninen vaativuus ovat jonkin verran korkeammat.

Biokaasubuusteri (vaihtoehto 1) ja pakasteblokki (vaihtoehto 5) ovat helppoja ja vähäriskisiä aloitusratkaisuja, mutta niiden lisäarvo ja kannattavuus jäävät rajallisiksi. Sen sijaan monivaiheiset ja energiasäästävät prosessit (vaihtoehdot 6–8) näyttävät teknisesti raskaampina ja taloudellisesti heikompina vaihtoehtoina.

Kokonaisuutena arvioiden alkuvaiheessa parhaat tulokset saavutetaan yksinkertaisilla, nopeasti käyttöönotettavilla ja selkeää lisäarvoa tuottavilla prosesseilla, kuten hygienisoinnilla tai hydrolysoinnilla, joita voidaan kehittää asteittain kohti korkeamman jalostusasteen tuotteita.

Taulukko 5.4a Vertailukriteerit.

Kriteeri	Kuvaus ja arviointiperuste	Alin (1 p)	Ylin (5 p)	Painoarvo (%)
Investointitaso (CAPEX)	Tarvittava alkuinvestointi laitteisiin, rakennemuutoksiin ja asennuksiin.	>1,2 M€ (erittäin korkea investointi)	<0,3 M€ (erittäin matala investointi)	20
Käyttökustannus (OPEX)	Käyttö- ja ylläpitokulut €/t (energia, kemikaalit, työvoima).	>100 €/t (korkea kustannus)	<50 €/t (matala kustannus)	10
Tuotteen arvo ja markkina-kelpoisuus	Myyntihinta ja kysyntä eri markkinasegmenteissä (rehu, lannoite, energia)	<100 €/t tai rajoitettu kysyntä	>350 €/t tai vientikelpoinen tuote	20
Takaisinmaksuaika	CAPEX/vuosikate – investoinnin takaisinmaksuaika vuosina.	>8 vuotta (hidas takaisinmaksu)	<2 vuotta (nopea takaisinmaksu)	15
Lisätyövoiman ja työajan tarve	Kuinka paljon prosessi lisää manuaalista työtä tai valvontaa	Vaatii lisähenkilön tai jatkuvaa valvontaa	Automaattinen tai sivutoiminen prosessi	10
Tilantarve ja infrastruktuuri	Lisätilan tarve ja sopivuus tyyppillisiin kylmä- tai käsittelytiloihin	>50 m ² lisätilaa tai uusi rakennus	<10 m ² lisätilaa tai olemassa oleva tila riittää	10
Paikallinen jalostusarvon nousu / arvonnaisa	Käsittelyn odotettu aluetaloudsvaikutus ja jalostusarvon nousu	Ei merkittävää arvonnaisaa / jalostusta	Korkea paikallinen jalostusarvo	15

Taulukko 5.4b Esitettyjen vaihtoehtojen vertailu. TMA = Takaisinmaksuaika.

#	Vaihtoehto / tuote	CAPEX	OPEX	TMA	Tuotearvo/ Markkinat	Työvoima	Tilantarve	Jalostusarvo	Yhteispisteet/ Maksimi	Sijoitus
1	Biokaasubuusteri	4	4	3	2	5	5	2	0.74	5
2	Stabiloitu rehuraaka-aine, ei-hygienisoitu	3	3	2	2	4	4	3	0.63	8
3	Stabiloitu rehuraaka-aine, ei-hygienisoitu + Öljytuote	3	3	4	4	3	3	5	0.79	3
4	Rehuraaka-aine, hygienisoitu	5	4	5	3	3	4	4	0.85	1
5	Pakasteblokki, ei hygienisoitu	3	3	3	3	3	4	3	0.70	6
6	Pakasteblokki, hygienisoitu	2	2	3	5	2	2	4	0.64	7
7	Stabiloitu pakaste, ei hygienisoitu	2	2	2	3	3	3	3	0.56	10
8	Stabiloitu ja hygienisoitu pakaste	2	2	3	5	2	2	4	0.65	9
9	Happohydrolysaatti (nestemäinen lannoite)	4	4	5	4	5	5	3	0.84	2
10	Entsyyttinen hydrolysaatti (FPH)	3	3	4	5	4	4	4	0.79	3

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

TK1. Säilyvätkö villikaloiden perkeet ja sivusaaliit sekä kasvatetun kirjolohen ja siian suolet 30 vuorokautta huoneenlämmössä tai +5–6 asteessa maitohappomelassiseoksella fermentoimalla?

Yksikään käsitellyistä kalasivuvirroista ei säilynyt mikrobiologisesti hyvälaatuisena pelkän maitohappofermentoinnin avulla. Kirjolohen suolet säilyivät 30 vuorokautta huoneenlämmössä ja kylmiölämpötilassa (n. + 4 astetta), kun ne oli käsitelty sekä hapolla että fermentoimalla. Ruotomassat ja villikalomassat eivät säilyneet täysin edes happokäsittelyn ja fermentoinnin jälkeen vaan niissä havaittiin etenkin aerobisia indikaattorimikrobeja.

TK2. Millaisiin käyttökohteisiin maitohappo-melassiseoksella fermentoidut villikaloiden perkeet ja sivusaaliit sekä kasvatetun kirjolohen ja siian suolet soveltuvat (biokaasutus, turkiseläinten rehu, lemmikin ruoka, muut käyttökohteet)?

Fermentoidut kalasivuvirrat soveltuvat biokaasureaktorin syötteeksi suuren metaanintuottopotentiaalinsa perusteella. Happo- ja fermentointikäsitellyt sivuvirrat voivat soveltua myös kalarasvan ja eläinrehun valmistukseen, kunhan prosessointiin sisällytetään hygienisointi ja massojen laatua valvotaan tarkasti. Hygienian kannalta näin tuotettu rehu soveltuu eläinruokakäyttöön mutta sen houkuttavuus lemmikkiruokateollisuuden kannalta riippunee sekä hapon määrästä että muista massan ominaisuuksista.

TK3. Mikä on fermentoinnin vaikutus villikaloiden suomuihin ja ruotoihin (esim. ruotojen pehmenemiseen)?

Villikaloiden, erityisesti suurten haukien perkeiden sisältämät ruodot ja nahat/suomut eivät hajonneet mikrobiologisesti, vaikka muuten kalamassat nesteytyivät koejakson aikana hyvin

6.2 Suositukset jatkoselvityksiin ja –tutkimuksiin

6.2.1 Markkinatieto

Työn tuloksista pyydettiin näkemys ulkopuoliselta asiantuntijalta, joka tuntee hyvin eläinperäisten sivutuotteiden käyttöä ja markkinoita [1]. Näkemyksen perusteella sisävesiltä saataville dioksiinivapaille kalasivuvirroille on kysyntää, mikäli sivuvirrat saadaan säilöttyä nopeasti mieluiten ilman happokäsittelyä eli käytännössä pakastettuna. Tälle tiedolle olisi hyvä saada vahvistus markkinaselvityksen kautta.

Tämän työn perusteella esitetyn konseptin kautta tuotettuja kalamassoja ei välttämättä kelpuuteta lemmikkiruokakäyttöön johtuen niiden happamuudesta. Erikoistuneet lemmikkiruuat ovat hinnaltaan perinteisiä eläinrehuja kalliimpia ja siten myös niiden tuotantoon voidaan ja halutaan käyttää kalliimpia raaka-aineita.

Tulosten pohjalta olisi järkevää toteuttaa tarkempi markkinaselvitys, jossa tarkastellaan yritysälähtöisesti tuotettujen jakeiden käyttömahdollisuuksia sekä etsitään potentiaalista jakeiden hyödyntäjää tai vaihtoehtoisesti toimijaa, joka on halukas käynnistämään siihen liittyvää yritystoimintaa.

Markkinatarkastelun kohteeksi kannattaa ottaa ainakin lemmikkiruoka-, rehu- ja lannoitevalmistajat. Lisäksi biokaasukäyttöä on syytä tarkastella paikallisesti suunnitteilla olevan laitoksen näkökulmasta. Lemmikkiruokateollisuuden mahdollisista käyttäjistä on vastikään koottu tietokanta (Hiiliviisasta kiertotaloutta / Poron veren markkinatutkimus, jota voi hyödyntää tarkastelussa.

1. Haastattelu 13.8.2025. Haastateltavan nimeä ja organisaatiota ei julkaista. Tiedot on ilmoitettu tilaajalle.

6.2.2 Käsittelytapojen tarkempi tarkastelu ja optimointi

Tämä työ toteutettiin screening-periaatteella eli vertailtiin valittujen olosuhdetekijöiden vaikutuksia kalamassan ominaisuuksiin. Koesarjan laajuus, näytteenotto ja toteutettujen analyysien kirjo määräytyivät tilarajoitusten ja tarjouspyynnön raamien mukaisesti, joten kaikkia kiinnostavia seikkoja ei voitu työn aikana tutkia. Työ ei myöskään sisältänyt validointikoetta, jonka avulla voidaan varmistaa prosessin toistettavuus. Sen vuoksi on järkevää toteuttaa jatkotutkimuksia, joissa optimoidaan prosessiolosuhteita (mm. hapon ja melassin annostus, fermentoinnin kesto). Optimoinnin jälkeen kannattaa toteuttaa validointikoe, jossa käsitellään useampi rinnakkainen näyte optimoiduissa olosuhteissa ja kerätään samalla isompia määriä näytteitä analyysihin.

Näytteistä kannattaa analysoida ainakin rasvan ominaisuudet eri käyttökohteiden kannalta sekä eläinrehu- ja lemmikkirokokäytön kannalta olennaiset asiat, kuten ravintoarvot. Analyysien lisäksi kannattaa kerätä näytteitä myös mahdollisille hyödyntäjille.

Tässä työssä käytetty happokäsittely on lievempi kuin mitä normaalisti hygienisoinnissa tehdään. Kokonaan ilman happokäsittelyä toteutettu fermentointi ei tutkimuksen perusteella riitä kalamassan stabilointiin ennen jatkokäsittelyä, joten kokonaan hapolta ei ehkä voida välttyä mutta sen määrää voisi optimoida. Lisäksi voisi olla hyvä selvittää ainakin jollain tasolla happokäsittelyn vaikutusta kalamassan rehukäyttöön, kuten aminohappokoostumukseen ja tuotteen sensorisiin ominaisuuksiin.



macon

macon.fi