



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Kalanjalostusteollisuuden sivuvirtojen hyötykäyttö

Paavo Nevala

Ympäristötekniikka

Kandidaatintyö

Huhtikuu 2022

TIIVISTELMÄ

Kalanjalostusteollisuuden sivuvirtojen hyötykäyttö

Paavo Nevala

Oulun yliopisto, Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatin työ 2022, 36 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Virpi Väisänen

Tämän kandidaatin työn tavoitteena oli tutkia kalanjalostusteollisuuden sivuvirtojen hyötykäyttöä. Tässä työssä kalanjalostuksen sivuvirtana käsiteltiin laajasti kaikenlaiset kalanjalostuksesta syntyvät sivuvirtajakeet aina pyydystyksestä lopullisten tuotteiden pakkaamiseen asti. Sivuvirtajakeisiin kuuluvat tämän määritelmän mukaan muun muassa kalan päät, nahka, ruodot, sisälmykset, suomut sekä sivusaalina saadut kalalajit.

Tämä tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Kalanjalostusteollisuuden sivuvirtajakeita voidaan hyödyntää lukuisilla eri prosessilla. Prosesseissa on tärkeää varmistaa sivuvirtojen riittävä säilyminen. Keskeisimmät hyödyntämisprosessit sisältävät vaiheita, joissa sivuvirta homogoidaan, minkä jälkeen siitä erotetaan halutut jakeet esimerkiksi lämmitys- ja puristus prosessilla, entsyymaattisella tai happo hydrolyysillä. Prosessien avulla sivuvirroista saadaan erotettua arvokkaat jakeet.

Sivuvirtojen hyötykäyttämällä voidaan samanaikaisesti vähentää syntyvän kalajätteen määrää sekä valmistaa tuotteita, joilla on konkreettisia käyttötarkoituksia. Tässä työssä hyödyntämiskohteet jaettiin elintarvikekohteisiin ja muihin kohteisiin. Elintarvikehyödyntämiskohteissa keskityttiin proteiini- ja lipidituotteiden tutkimiseen. Muissa hyödyntämiskohteissa keskityttiin kalajauhon ja rehun valmistukseen kalanviljelyn merkittävyyden takia, sekä biopoltoaineiden valmistukseen. Kalan saalustumääriä ei voida lisätä vaarantamatta luonnon monimuotoisuutta ja lajien säilyvyyttä. Tästä johtuen kalanviljelyllä ja sivuvirtojen hyötykäyttämällä tulee tulevaisuudessa olemaan yhä suurempi rooli.

Asiasanat: kalanjalostus, sivuvirrat, hyötykäyttäminen.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	
SISÄLLYSLUETTELO	
1 Johdanto	4
2 Kalanja lostusteollisuus ja sen sivuvirrat	5
2.1 Kalantuotantomäärät maailmalla ja Suomessa.....	5
2.2 Kalastusprosessi ja kalanviljely	6
2.3 Sivuvirrat	7
3 Perusteet sivuvirtojen hyötykäytölle	9
4 Sivuvirtojen säilöntämenetelmät ja käsittelymenetelmät	12
4.1 Sivuvirtojen säilöntämenetelmät	12
4.2 Sivuvirtojen käsittelymenetelmät	14
5 Elintarvikehyödyntämiskohteet.....	17
5.1 Proteiinit	17
5.2 Kalaöljy	19
6 Muut hyödyntämiskohteet.....	21
6.1 Kalajauho ja rehu	21
6.2 Biopolttoaineet	22
6.3 Biodiesel.....	22
6.4 Biokaasu.....	24
7 Tulevaisuuden trendi.....	25
8 YHTEENVETO	28
LÄHDELUETTELO	29

1 JOHDANTO

Maailmanlaajuisen kalanjalostusteollisuuden yhteydessä syntyy merkittävät määrät sivuvirtoja. Sivuvirrat sisältävät kalan prosessoinnissa syntyvät sivutuotteet, ja tässä työssä sivuvirtana käsiteltiin laajasti kaikki kalaperäinen materiaali, joka päätyy sivuvirtaan. Kalasivuvirtoja on aikaisemmin pidetty jätteenä, jolla ei ole arvoa tai niitä on käytetty rehuna esimerkiksi turkiseläimille. Kuitenkin nykyisillä prosesseilla sivuvirroista voidaan erotella useita eri jakeita ja näistä voidaan valmistaa sekä elintarviketuotteita että muita hyödyllisiä tuotteita. Tässä työssä pyritään selvittämään kirjallisuuskatsauksella erilaisia menetelmiä kalasivuvirtojen käsittelylle eri tuotteiksi. Mahdollisissa hyödyntämiskohteissa keskitytään proteiinituotteisiin, kalaöljyyn, kalajauhoon ja biopoltoaineisiin. Aihetta käsitellään maailmanlaajuisesta näkökulmasta ja tavoitteena on selvittää yleisesti, miten sivuvirtoja voidaan hyödyntää ja millaisia tuotteita niistä voidaan valmistaa.

Maailmanlaajuinen kalan pyydystys on saavuttanut sellaisen tason, että sitä ei voida enää kasvattaa ilman kalakantojen ja luonnon monimuotoisuuden vaarantumista. Kala on hyvin tärkeä proteiinin lähde lukuisissa maissa. Etenkin tietyissä kehitysmaissa kala on ensisijaisen tärkeä proteiinin lähde. Koska saalismäärät ovat pysyneet muuttumattomina viime aikoina, on kalankasvatus vastannut kalan kysynnän kasvuun. Kalankasvatuksen lisääntymisen myötä myös kalarehun kulutus on kasvanut huomattavasti, mikä on ongelmallista, koska rehu valmistetaan pääsääntöisesti kalajauhosta, jota valmistetaan siihen soveltuvista kalalajeista. Jotta varmistetaan kalan ja kalatuotteiden riittävä saatavuus myös tulevaisuudessa täytyy kalamateriaalia pystyä hyödyntämään tehokkaammin ja tässä sivuvirtojen hyötykäyttäminen on avainasemassa. Sivuvirtojen hyötykäyttämällä voidaan samanaikaisesti vähentää jätteiden määrää ja valmistaa muun muassa elintarviketuotteita.

2 KALANJALOSTUSTEOLLISUUS JA SEN SIVUVIRRAT

Kalanjalostus on hyvin monipuolinen prosessi johtuen raaka-aineena olevien kalojen monimuotoisuudesta. Tässä kappaleessa käsitellään yleisellä tasolla kalanjalostusteollisuutta sekä maailmanlaajuisesti että Suomen kannalta ja perehdytään kalastukseen, kalankasvatukseen ja kalanjalostusteollisuuden sivuvirtoihin.

2.1 Kalantuotantomäärät maailmalla ja Suomessa

Kalanjalostusteollisuus käsittelee kattavasti kalan prosessoiminn lopulliseksi tuotteeksi alkaen heti pyydystyksen jälkeen. Kalan lähteet voidaan karkeasti jakaa kolmeen sektoriin: pyydystys mereltä, pyydystys sisämaasta sekä vesiviljely. Kala on hyvin monimuotoinen raaka-aine, johon vaihtelevuutta tuo eri kalalajien suuri määrä. Kalansaaliit vaihtelevat suuresti kalastusalueen ja myös vuodenajan mukaan. Maailmanlaajuinen kalantuotanto kalastuksesta ja kalanviljelystä oli vuonna 2010 148 miljoonaa tonnia. Tästä määrästä noin 128 miljoonaa tonnia päätyi käytettäväksi ihmisten kulutukseen elintarvikkeina ja 20 miljoonaa tonnia päätyi käytettäväksi muuna kuin elintarvike- tai ruokatuotteena. Kestävän kalantuotannon ja paranneltujen jakelukanavien ansiosta kalaruuan tarjonta maailmassa on kasvanut todella paljon viimeisten viiden vuosikymmenen aikana. Vuonna 2006 maailmanlaajuinen kalantuotanto oli 137 miljoonaa tonnia ja vuonna 2011 154 tonnia. (FAO 2012 s. 3) Viimeisimmät tiedot maailman laajuiselle kalantuotannolle on vuodelta 2019, jolloin tuotantomäärä oli jo n. 178 miljoonaa tonnia. Tämä pitää sisällään kalastuksen sisämaassa ja merellä sekä kalanviljelyn. Kalantuotantomäärät ovat siis kasvaneet tasaisesti vuodesta 2006 aina vuoteen 2019 asti. (FAO 2021)

Suomessa kalantuotanto keskittyy suurimmilta osin kaupalliseen kalastukseen merellä ja sisävesillä, mutta kalankasvatus ja vapaa-ajan kalastus vaikuttavat myös kokonaiskalantuotantomäärään. Suomen kalantuotantomäärä on vaihdellut 1050 tonnista 1920 tonniin vuosien 1980–2019 aikana. Viimeisin tieto on vuodelta 2019, jolloin kokonaistuotantomäärä oli n. 1700 tonnia. Tärkeimmät lajit kalastuksessa ovat silakka, kilohaili, turska ja lohi. Vuoden 2019 kokonaistuotannosta n. 1415 tonnia oli

kaupallisesta kalastuksesta, 223 tonnia vapaa-ajan kalastuksesta ja 153 tonnia kalanviljelystä. (Luke 2019)

Kala on hyvin monipuolinen ja vaihteleva raaka-aine, sillä siitä voidaan valmistaa hyvin monenlaisia tuotteita riippuen lajista ja prosessointitavasta. Yleisesti kalatuotteet voidaan jakaa muun muassa eläviin, tuoreisiin, kylmäsäilöttyihin, pakastettuihin, kuumakäsiteltyihin, fermentoituihin, kuivattuihin, savustettuihin ja suolattuihin kalatuotteisiin. Näiden lisäksi kalasta voidaan valmistaa myös useita muuhun kuin elintarvikkeeseen tarkoitettuja tuotteita. Maailmanlaajuisesti kaikesta tuotetusta kalasta n. 40 % markkinoitiin tuoreena, elävänä tai kylmäsäilöttyinä, n. 46 % prosessoitiin pakasteeksi, suolatuksi tai muuten suoraan ihmiskäyttöön ja n. 14 % käytettiin muuhun kuin elintarvikkeiksi. (FAO 2012 s. 63)

2.2 Kalastusprosessi ja kalanviljely

Kalanjalostusprosessi alkaa yleensä jo kalastuspaikalta säilyvyyden varmistamisella. Kala ja kaloihin verrattavat saaliit ovat alttiita pilaantumiselle, minkä takia niiden käsittelyssä ja säilönnässä tarvitaan erityistä huolellisuutta, jotta varmistetaan näiden tuotteiden säilyvyys, laatu ja turvallisuus. Perinteisesti kalatuotteiden säilytyksessä turvaudutaan kylmään säilöntään tai pakastamiseen, mutta myös muita menetelmiä voidaan käyttää riippuen valmistetusta tuotteesta. Kylmäsäilöntä kalatuotteille on välttämätöntä, jotta estetään taudinaiheuttajien kasvu sekä niiden toksiinien tuotanto. (Nilsson ja Gram 2002) Kala vaatii siis erityistä huolellisuutta kalanjalostusprosessin aikana niin kuljetuksen, säilönnän kuin käsittelynkin suhteen. Kalan pyydystämisen jälkeen täytyy kala prosessoida lopulliseksi tuotteeksi. Tätä prosessointia kutsutaan kalanjalostukseksi. Esimerkiksi tyypillisen lohikalan jalostusprosessin vaiheita ovat tappaminen, perkaus, fileointi, trimmaus, lajittelu, arviointi ja pakkaus. (Skjøndal Bar 2015)

Kalankasvatuksella tarkoitetaan eri kalalajien kasvatusta valvotuissa olosuhteissa elintarvikkeeseen tai muihin sovelluksiin, kuten kalanpoikastuotantoon. Kalankasvatuksella tulee olemaan yhä suurempi merkitys kalan tuotannossa tulevaisuudessa. Kalansaalismäärät merestä ja sisämaan vesistöistä ovat pysyneet suhteellisen lähellä 90 miljoonaa tonnia viime vuosikymmenen ajan. Kuitenkin viljellyn

kalan määrä on kasvanut tasaisesti 34 miljoonasta tonnista 82 miljoonaan tonniin viimeisen 15 vuoden aikana. Viljelyn tärkeys tulee vain kasvamaan tulevaisuudessa, sillä monet kalalajit ovat liikahyödynnettyjä, minkä takia saalismääriä ei voida näiden lajien kohdalla nostaa. Kalan kulutus on kasvanut viime vuosikymmenien aikana maailman populaation kasvun myötä. Kuitenkin saalismäärien pysyessä samoissa lukemissa on tärkeää miettiä, miten maailman kalan kysyntään voidaan vastata tulevaisuudessa. (FAO 2020 s. 9) Kalankasvatuksella voi olla merkittäviä vaikutuksia kasvatuslaitosten ympäristöissä. Syömättä jääneet ruokarehut ja kalojen ulosteet valuvat kasvatuspaikan pohjalle ja voivat aiheuttaa veden laadun huonontumista ja happikatoa. Kasvattamot voivat myös levittää tauteja, sillä kasvatusolosuhteissa tautien leviäminen on helppoa. Kasvatuslaitoksista karanneet kalat voivat myös vaikuttaa suuresti ympäristöön ja eri kalalajeihin lisääntymällä tai kilpailemalla luonnollisten lajien kanssa. Kalankasvattamot siis voivat vaikuttaa suuresti ympäristöön, minkä takia on syytä harkita ympäristöystävällisempien kasvatusmenetelmien käyttöönottamista tulevaisuudessa. (MCS ym. 2010)

2.3 Sivuvirrat

Johtuen kalan monimuotoisista käyttömahdollisuuksista myös kalanjalostuslaitoksissa on eroja niin prosessointimenetelmissä kuin kapasiteeteissa. Kuitenkin n. 70 % kaikesta kalasta prosessoidaan jollakin tavalla ennen myyntiä. Useimmissa kalanjalostuslaitoksissa kalan prosessointiin liittyy useita eri vaiheita. Esimerkiksi fileeratun kalan valmistuksen vaiheisiin kuuluvat tainnutus, luokittelu, liman poisto, suomustus, peseminen, pään poisto, perkaus, evien leikkuu, leikkaus paloiksi, fileointi, pakkaaminen, etiketointi ja valmiin tuotteen jakaminen. Riippuen prosessointitavasta ja kalalajista n. 20–80% prosessoidusta kalasta päätyy lopullisen tuotteen sijaan sivuvirraksi. (Ghaly ym. 2013) Suuri osa kalanjalostusteollisuuden sivuvirroista syntyy siis kalan prosessoinnista. Prosessoinnin seurauksena sivuvirraksi päätyy kalan päät, nahka, runko, ruodot ja luut ja suomet. Myös sivuvirtojen määrä, koostumus ja laatu vaihtelevat suuresti riippuen muun muassa kalalajista, käsittelytavasta ja käsittelypaikasta. Toinen sivuvirtojen lähde on niin sanottu sivusaalis, jota syntyy kalastusvaiheessa, kun kohdekalalajin lisäksi saadaan koon tai muiden ominaisuuksien takia hankalasti hyödynnettävää kalaa saaliiksi. (FAO 2020 s. 53)

Kalanjalostusteollisuuden sivuvirtoja on pidetty ja pidetään edelleen jätteenä. On arvoitu, että n. 50 % kalakudoksesta mukaan lukien evät, päät, nahka ja sisäelimet heitetään pois, sillä niitä pidetään jätteenä, jota ei voida hyödyntää. Johtuen sivuvirtojen vaihtelevuudesta niin koostumuksen kuin määränkin suhteen arviot poisheitettyjen sivuvirtojen kokonaismääristä vaihtelevat suuresti. Kuitenkin maailmanlaajuisten arvioiden mukaan vuosittain yhteensä n. 20 miljoonaa tonnia eli n. 25 % koko meripyydystyksestä päätyy käsiteltäväksi jätteenä. Tämä pitää sisällään niin sivusaaliin kuin kalanjalostusteollisuuden sivuvirrat ja jätteet. Sivuvirtojen käsittely jätteenä on ongelmallista monessakin mielessä, sillä se lisää jätteenkäsittelyyn tarvittavia resursseja ja samalla estää sivuvirtojen hyödyntämisen muihin tarkoituksiin, kuten kalajauhon ja kalaöljyn tuotantoon. (Caruso 2015)

3 PERUSTEET SIVUVIRTOJEN HYÖTYKÄYTÖLLE

Kalanjalostuksen sivuvirtoja ja jätteitä on aikaisemmin pidetty vähäarvoisina ja ongelmallisina materiaaleina, jotka on pitänyt hävittää mahdollisimman vaivattomasti. Kuitenkin kalanjalostuksen sivuvirroista voidaan valmistaa monenlaisia tuotteita niin ihmiskäyttöön kuin muihinkin sovelluksiin. Sivuvirroista voidaan valmistaa muun muassa kalaöljyä, kalajauhoa, rehua ja paljon muita tuotteita. (FAO 2012 s. 66)

Kala ja kalatuotteet sisältävät arvokkaita ravintoaineita, jotka ovat tärkeässä roolissa monipuolisessa ja terveellisessä ruokavaliossa. Kala sisältää yleensä vain vähän tyydyttyneitä rasvoja, hiilihydraatteja ja kolesterolia, mutta tarjoaa korkea-arvoisen proteiinin lähteen. Proteiinin lisäksi kala sisältää paljon välttämättömiä mikroravinteita kuten vitamiineja, mineraaleja ja monitydyttymättömiä rasvahappoja. Pienikin määrä kalaa ruokavaliossa tarjoaa merkittävän positiivisen vaikutuksen aminohappojen, rasvojen ja mikroravinteiden takia, etenkin kasvispohjaisissa ruokavalioissa, joissa kyseiset ravintoaineet ovat harvassa. (FAO 2012 s. 84) Kalan ravitsemuksellisten hyötyjen lisäksi kala tarjoaa myös muita positiivisia vaikutuksia ihmisen terveydelle. Etenkin raskaana oleville naisille ja vastasyntyneille lapsille kalan syöminen osana ruokavaliota vaikuttaa positiivisesti kognitiiviseen kehitykseen. Kalan käytöllä ruokavaliossa on todettu olevan hyödyllinen vaikutus myös mielenterveyteen, sydän- ja verisuonitautien ehkäisyyn, aivohalvauksen ehkäisyyn ja ikään liittyvään silmäpohjan rappeuman torjumiseen. (FAO 2020 s. 68)

Kala siis tarjoaa sekä tärkeän proteiinin lähteen ihmisille että myös muita positiivisia terveysvaikutuksia. Etenkin kehitysmaissa, joissa ei ole saatavilla paljoa muuta proteiinia, kala on erityisen tärkeässä asemassa. Kalan käyttö on lisääntynyt paljon viimeisen viidenkymmenen vuoden aikana niin kehitysmaissa kuin kehittyneissä maissa. (FAO 2020 s. 65) Kala ja kalatuotteet ovat merkittävässä osassa koko maailman ruuan saannin turvaamisessa. Yli 800 miljoonaa ihmistä elää nälässä maapallolla (AAH 2021). Etenkin kehitysmaiden osalta kalalla ja kalastuksella on hyvin merkittävä rooli ihmisten hyvinvointiin. Kuitenkin 90 % maailman meren kalakannoista ovat joko täysin hyödynnettyjä, liikahyödynnettyjä tai ehtyneitä. Kalakantojen liikahyödyntämisellä on

suuri negatiivinen merkitys maailmanlaajuiseen ruuansaannin turvaamiseen. (UNCTAD 2017)

Liikakalastuksella tarkoitetaan sellaista kalastusta, jossa kalaa tai kalalajia kalastetaan enemmän kuin se luontaisesti uusiutuu. Syitä liikakalastukseen on monia, joista merkittävimpiä ovat laitton kalastus, taloudelliset tuet ja ylikapasiteetti. Liikakalastuksella on vaikutusta koko ekosysteemiin, sillä se voi vaikuttaa jäljelle jääneen kalaston kokoon ja lisääntymiseen sekä siihen, kuinka nopeasti kalat kasvavat täysikasvuiksi. Liikakalastus voi myös vaikuttaa laajemmin ravintoverkkoihin ja aiheuttaa muiden tärkeiden eläinlajien häviämisen. Liikakalastus vaikuttaa siis koko vesi ekosysteemeihin ja sitä kautta myös ihmisten kalanlähteisiin ja saalismääriin. Liikakalastus on siis merkittävä uhka ruokaturvallisuudelle ja taloudelliselle turvallisuudelle maailman laajuisesti, etenkin kehitysmaissa ja rannikkoyhteisöissä. (WWF 2021) Yhdistyneet kansakunnat on käynnistänyt useita aloitteita, joiden tarkoituksena on ollut edistää kestävää kehitystä. Näistä yksi on vuonna 2015 käynnistetty Agenda 2030 - tavoiteohjelma, joka pitää sisällään 17 SDG-tavoitetta. SDG 14 käsittelee vedenalaista elämää ja sen alatavoitteena oli lopettaa ylikalastus vuoteen 2020 mennessä. (United Nations 2021) Tätä tavoitetta ei kuitenkaan ole pystytty saavuttamaan (FAO 2020 s. 54). Vaikka kehittyneet maat ovatkin parantaneet kalastajien toimintatapoja, niin kehitysmaissa tilanne on huonontunut ylikapasiteetin, tehottoman tuotannon ja kalakantojen taantumisen takia. (Ye ja Gutierrez 2017) Näiden seikkojen takia on tärkeää punnita kaikkia mahdollisia toimia, joilla voidaan ehkäistä ylikalastusongelmaa, ja sivuvirtojen hyötykäyttäminen voi olla yksi niistä.

Ylikalastuksen lisäksi myös muuttuva ilmasto ja ilmaston lämpeneminen voivat vaikuttaa tulevaisuudessa. Lukuisia ilmastoon liittyviä uhkia kalastukselle ja kalanviljelylle on havaittu, mutta ennustusten luotettavuus on alhainen johtuen tulevaisuuden maailmanlaajuisen vesien nettoalkutuotannon epävarmuudesta. Ilmaston lämpenemisen johdosta korkeiden leveysasteiden alueella kalantuotanto voi kasvaa lämmön lisääntymisen ja jääalueiden sulamisen seurauksena. Samaan aikaan matalilla leveysasteilla kalansaaliit ja tuotannot voivat todennäköisesti heikentyä, koska pystysuuntainen sekoitus vesipatsaiden välillä vähenee, minkä takia ravinteiden kiertokulku heikkenee. (Brander 2007) Kasvavan populaation aiheuttaman lisääntyvän kysynnän ja muuttuvien olosuhteiden takia tulevaisuudessa kalan käyttömäärät voidaan

pitää nykyisellä tasolla vain, jos kalanviljelyn kasvattamisen avulla vaikutetaan riittävästi kalan tarjontaan ja tarjonnan stabiilisuuteen maailman laajuisesti. Kalanviljely on kasvanut suuresti viimeisen vuosikymmenen aikana ja viljelyn kasvu on nojannut voimakkaasti kalajauhon ja -öljyn käyttöön kalanviljelyn vaatiman rehun valmistuksessa. Kalajauhoa ja öljyä on valmistettu yleisesti pienikokoisista avomeren kaloista kuten anjoviksesta, sardiinista, villakuoreesta ja silakasta. Kalajauhon ja -öljyn tarjonta on kuitenkin rajallista pyydystyskohteista, minkä takia näiden tuotteiden tehokas käyttö ja jakaminen on suuri ongelma kalanviljelyteollisuudelle. (Merino ym. 2012)

Sivuvirtojen hyötykäyttäminen on hyvin tärkeässä roolissa, kun tarkastellaan kalanjalostusteollisuuden mahdollisuuksia kiertotalouden parantamiseen. Euroopan Unioni esitti vuonna 2020 uuden kiertotalous toimintasuunnitelman, jonka tavoitteena on muun muassa keskittyä sektoreihin, jotka käyttävät eniten resursseja, ja varmistaa jätteiden määrän vähentyminen näillä sektoreilla. (European Union 2020). Sivuvirtojen hyötykäyttämällä voidaan edistää kiertotalouden toimintaa suuresti, sillä sivuvirroista voidaan valmistaa korkea-arvoisia tuotteita, kuten kalajauhoa ja kalaöljyä, ja samalla saadaan vähennettyä kalanjalostusteollisuuden jätteiden määrää. Sivuvirtojen hyötykäyttö on siis avainasemassa koko kalanjalostusteollisuuden kiertotalouden kehittämisessä. (Ruiz-Salmón ym. 2020)

4 SIVUVIRTOJEN SÄILÖNTÄMENETELMÄT JA KÄSITTELYMENTELEMÄT

Kala, kalatuotteet ja niiden sivuvirrat ovat hyvin herkästi pilaantuvaa raaka-ainetta, minkä johdosta niiden varastoinnissa ja käsittelyssä on panostettava menetelmiin, jotka varmistavat riittävän säilyvyyden. Kalan ja kalatuotteiden kohdalla säilyvyys nykypäivänä on suhteellisen hyvällä tasolla, mutta sivuvirtojen kohdalla näin ei aina ole. Sivuvirtojen hyötykäyttäminen kuitenkin vaatii riittävän säilyvyyden niin raaka-aineille kuin tuotteillekin, jotta ne voidaan käsitellä edelleen lopulliseksi tuotteeksi. (Jacobsen 2020) Tässä kappaleessa perehdytään sivuvirtojen säilöntämenetelmiin sekä käytettyihin prosesseihin niiden käsittelyssä eri tuotteiksi.

4.1 Sivuvirtojen säilöntämenetelmät

Kala on helposti pilaantuvaa materiaalia. Kalan pilaantumisen syyt voidaan jakaa kolmeen pilaantumismekanismiin: entsyymaattiseen autolyysiin, hapettumiseen ja mikrobikasvuun. Entsyymaattisessa autolyysissä kalan lihaksissa ja sisäelimissä olevat proteolyttiset entsyymit aiheuttavat pilaantumista kalassa sen kuoleman jälkeen. Kokonaisen kalan vääränlaisessa varastoinnissa proteolyysi aiheuttaa proteiinien pilaantumisen. Hapettavassa pilaantumisessa tiettyjen rasvapitoisten kalojen rasva-aineet hapettuvat ja aiheuttavat kalaan tavallisuudesta poikkeavan maun ja huonontavat saatavan kalaöljyn laatua. Mikrobikasvun aiheuttama pilaantuminen voi tapahtua monen eri bakteerin takia. Näiden bakteerien ja muiden mikrobien kasvun ja metabolian takia kalaan muodostuu muun muassa amiineja, putreskiinia, histamiinia, orgaanisia happoja, sulfideja alkoholeja, aldehydejä ja ketoneja, jotka aiheuttavat kalaan pilaantumista epämiellyttävien sivumakujen muodossa. (Ghaly ym. 2010)

Kalan pilaantumista on perinteisesti pyritty estämään pakastamalla, kylmäsäilytyksellä, kuivatuksella, savustamalla, käymismenetelmällä ja purkittamalla. Näillä toimenpiteillä voidaan pidentää tuotteiden säilyvyysaikaa huomattavasti. (Ghaly ym. 2010) Sivuvirtojen säilytyksessä ei ole yleensä tarkoituksenmukaista käyttää perinteisiä kalan säilytysmenetelmiä, kuten purkitusta tai savustusta. Sivuvirtojen säilytyksessä keskitytään yleisimmin kylmä- ja pakastussäilytykseen. Sivuvirrat ovat todella herkästi

pilaantuvia etenkin, jos sivuvirtoja ei erotella mitenkään päiksi, nahoiksi, suoliin ja niin edelleen. Kaikkien sivuvirtakomponenttien sekoittaminen keskenään aiheuttaa muuten puhtaiden osien, kuten selkärangan, likaantumisen vereen, entsyymeihin ja rasvaan. Samalla sivuvirran säilyvyys laskee huomattavasti. (Jacobsen 2020) Tämä johtuu suuresti verestä ja veren hemoglobiinista, sillä nämä lisäävät merkittävästi lipidien hapettumisesta aiheutuvaa pilaantumista. Lipidien hapettuminen tapahtuu sivuvirroissa nopeasti ja sen seurauksena virroissa olevat arvokkaat pitkäketjuiset monityydyttymättömät rasvahapot tuhoutuvat. Tästä johtuen veren aiheuttamaa sivuvirran pilaantumista pidetään suurimpana esteenä kalan sivuvirtojen täydelle hyötykäyttämislle ruuaksi. (Haizhou ym. 2020) Sivuvirtojen pilaantumista voidaan ehkäistä jakamalla sivuvirrat eri komponenttien mukaan osiin.

Kalanjalostuksen sivuvirtoja voidaan säilöä kalojen ja kalatuotteiden tapaan kylmäsäilönnällä ja pakastamalla. Kuitenkin järkevintä olisi käsitellä sivuvirrat mahdollisimman nopeasti niiden syntymisen jälkeen (Al Kwhali ym. 2019) Rasva-aineisiin kohdistuvaa pilaantumista voidaan kuitenkin estää huuhtelemalla tai hautomalla sivuvirtoja antioksidanttisella liuksella. Tutkimusten mukaan antioksidanttisen liuksen avulla voidaan estää silakkasivuvirran rasva-aineiden hapettuminen ja parantaa näin niiden säilymisaikaa 1–12 päivää. Antioksidanttisena liuksena tutkimuksessa toimi Duralox MANC, joka on seos rosmariiniuutetta, askorbiinihappoa, tokoferolia ja sitruunahappoa. Silakkasivuvirrat käsiteltiin antioksidanttisella liuksella, minkä jälkeen ne jauhettiin ja joko pakastettiin tai säilöttiin muutoin. Näillä toimenpiteillä mahdollistetaan pidennetty aikaikkuna, jonka aikana sivuvirroista on mahdollista valmistaa korkea-arvoisempia tuotteita. Tutkimustulokset ovat hyvin lupaavia, mutta menetelmän kehittäminen on vasta varhaisessa vaiheessa, minkä takia lisätutkimuksia tarvitaan selvittämään muun muassa miten antioksidantti liuos vaikuttaa hemoglobiiniin. Myös menetelmän kustannuksia on syytä tutkia. (Haizhou ym. 2021; Haizhou ym. 2020)

Antioksidanttisen käsittelyn ja kylmä-/pakastussäilöamisen lisäksi kalanjalostuksen sivuvirtojen säilyttämisessä on mahdollista hyödyntää korkealämpötilakäsittelyä, kuivausta ja kemiallista käsittelyä. Korkealämpötilakäsittelyssä säilöttävä sivuvirta kuumennetaan riittävän korkeaan lämpötilaan, joka estää mikrobien toiminnan ja nostetaan näin sivuvirran säilyvyyttä. Tämä käsittely kuitenkin aiheuttaa proteiinien denaturoitumista ja muita ei-aluttuja reaktiota sivuvirrassa, minkä johdosta prosessi ei

sovellu kaikkien sivuvirtojen käsittelyyn. Kuivauksessa sivuvirtojen vesipitoisuutta lasketaan, mikä estää bakteerien kasvua ja nostaa säilyvyyttä. Kemiallisessa käsittelyssä sivuvirtojen säilyvyyttä parannetaan käyttämällä kemikaaleja. Yksi kemiallinen käsittelymenetelmä on hapon lisäys, jolla lasketaan pH:ta ja näin lisätään säilyvyyttä. (Falch ym. 2007)

4.2 Sivuvirtojen käsittelymenetelmät

Kalanjalostusteollisuuden sivuvirtojen käsittelymenetelmien osalta perehdytään tässä tutkimuksessa erilaisiin tekniikoihin, joiden avulla sivuvirroista saadaan erotettua halutut ja arvokkaammat komponentit. Sivuvirtojen käsittelymenetelmät voidaan karkeasti jakaa perinteisiin menetelmiin, joiden avulla on erotettu komponentteja sivuvirroista pitemmän aikaa, ja uudempiin menetelmiin, joita ei ole vielä sovellettu pitkään tai niitä ei ole käytetty teollisessa mittakaavassa. Perinteisiin menetelmiin kuuluvat muun muassa entsyymaattinen ja happohydrolyysi, liuotinkäsittely ja lämpökäsittely. Uudempiin ympäristöstävällisiin menetelmiin kuuluu muun muassa ultraäänivustettu erotus, ylikriittinen nesteuutto ja mikroaaltoavusteinen erotus. (Al Kwhali ym. 2019; Haizhou ym. 2020)

Sivuvirtojen käsittely vaihtelee suuresti niin sivuvirran koostumuksen kuin halutun tuotteenkin mukaan. Kuitenkin yleisimmissä menetelmissä sivuvirrat jauhetaan ennen niiden varsinaista käsittelyä ja komponenttien erotusta. Esimerkiksi norjalaisen lohen prosessoinnissa syntyvien sivuvirtojen käsittelyssä ensimmäinen vaihe on sivuvirran jauhatus, jotta sivuvirta saadaan mahdollisimman homogeeniseksi. Jauhatuksen jälkeen seuraava vaihe on itse komponenttien erotus, joka tapahtuu tässä tapauksessa lämmityserotuksella tai entsyymaattisella hydrolyysillä. Lämmityserotuksessa jauhetusta sivuvirrasta saadaan erotettua lämpötilan ja faasinerotuksen avulla kalaöljyä ja proteiinitiiivistettä, joista voidaan valmistaa rehua eläimille tai lannoitetta. Lämpökäsittelyprosessi on suhteellisen yleinen prosessi nykyään. (Nappa ym. 2013)

Hydrolyysi on paljon käytetty menetelmä, jolla voidaan erottaa proteiineja liha- ja kalasivuvirroista. Hydrolyysi voidaan suorittaa joko kemiallisesti käyttämällä happoa/emästä tai entsyymaattisesti käyttämällä entsyymiä. Happo- tai emäshydrolyysissä sivuvirtojen proteiinit tehdään liukoiksi lämpökäsittelyllä, jonka jälkeen niitä

käsitellään emäksisillä tai happamilla aineilla riittävän kauan ja saadaan tuotteeksi proteiinihydroosylaattia. Emäshydrolyysiä käytetään vähemmän ruokapohjaisten tuotteiden valmistuksessa johtuen sen aiheuttamista negatiivisista vaikutuksista proteiinien ravinnollisiin laatuihin. Emäshydrolyysissä voi myös muodostua toksisia aineita, jos sivuvirtoja lämpökäsitellään emäksisissä olosuhteissa. Emäshydrolyysin huonojen puolien takia happohydrolyysiä käytetään enemmän. Kuitenkin myös happohydrolyysissä on ongelmana proteiinien huonontunut toiminta ja joidenkin aminohappojen häviäminen. Kaiken kaikkiaan kemiallisella hydrolyysillä valmistetut tuotteet ovat ravinnollisesti ja toiminnallisesti heikkoja. (Aspevik ym. 2017) Kemiallista hydrolyysiä voidaan kuitenkin käyttää muun muassa lannoitteiden ja joidenkin elintarvikkeiden ainesosina (Vielma ym. 2013). Entsymaattisessa hydrolyysissä proteiinihydroosylaattia saadaan erotettua sivuvirrasta käyttämällä proteiineja sulattavia entsyymejä eli proteaaseja. Tätä käsittelytapaa pidetään mietona prosessina, josta saadaan korkeat saannot ilman, että tuotteen ravinnolliset ominaisuudet kärsivät liikaa. Entsymaattista hydrolyysiä pidetään yleisesti parempana menetelmänä elintarvikkeikäyttöisten proteiinihydroosylaattien valmistukseen kuin kemiallista hydrolyysiä. (Aspevik ym. 2017)

Liuottimeen perustuvassa käsittelymenetelmässä sivuvirroista erotetaan proteiineja käyttämällä happoja ja emäksiä liuottimina isoelektrisessä saostuksessa. Tätä käsittelymenetelmää kutsutaan myös pH:n vaihdosprosessiksi, jossa proteiinit saadaan liukenemaan liuokseen joko riittävän korkealla tai riittävän matalalla pH:lla. Prosessissa ensin homogoidaan sivuvirta, liuotetaan proteiinit käyttämällä korkeaa tai matalaa pH:ta, erotetaan sentrifugilla eri osat jakeiksi, saostetaan liuenneet proteiinit isoelektrisesti pH:ssa 5.3–5.5 ja sentrifugoidaan tämä uudestaan. Näin saadaan lopulta proteiini-isolaattia. Tällä prosessilla saadaan erotettua sivuvirroista proteiineja korkealla saannolla ja hyvillä funktionaalisilla ominaisuuksilla. pH-vaihdosmenetelmä on suotuisa prosessi verrattuna muihin kemiallisiin erotusmenetelmiin, sillä tässä menetelmässä saadaan korkealaatuista isolaattia ja prosessissa voidaan käyttää kokonaisia kaloja, joissa on luuta ja nahat mukana, sillä proteiinit saadaan selektiivisesti erotettua ja otettua talteen. (Kristisson ym. 2007; Surasani 2018)

Tunnettujen menetelmien lisäksi on myös kehitelty uudempia ympäristöystävällisempiä menetelmiä sivuvirtojen käsittelylle. Perinteisemmät menetelmät ovat usein paljon

energiaa kuluttavia ja voivat aiheuttaa haluttujen komponenttien huononemisesta johtuen korkeasta prosessointilämpötilasta. Ympäristöystävällisempiä menetelmiä ovat muun muassa ultraääniavustettu erotus ja ylikriittinen fluidierotus. Näillä menetelmillä voidaan tehostaa muita menetelmiä ja näin lisätä niiden tehokkuutta niin energiankäytön kuin tuotteiden saannonkin suhteen. Nämä menetelmät ovat kuitenkin suhteellisen uusia, minkä takia niitä ei ole testattu teollisessa mittakaavassa. (Al Kwhali ym. 2019)

5 ELINTARVIKEHYÖDYNTÄMISKOHTEET

Kalanjalostusteollisuuden sivuvirrat sisältävät paljon eri komponentteja. Kalasivuvirtojen päistä, nahasta, rangoista, sisälmyksistä ja palasista voidaan erotella osia, joilla on arvoa. Näitä osia ovat muun muassa bioaktiiviset aineet ja muut komponentit, kuten kalaöljyt, proteiinit ja peptidit, kollageeni, gelatiini, entsyymit, kitiini ja mineraalit. Näistä osista voidaan valmistaa terveyttä edistäviä ruokia, erityissyötteitä, ravintoaineita, lääkkeitä ja kosmeettisia tuotteita. (Välimaa ym. 2019) Tässä kappaleessa perehdytään tarkemmin kalaöljyn ja proteiinituotteiden valmistamiseen sekä niiden käyttökohteisiin elintarvikkeina.

5.1 Proteiinit

Kalanjalostusteollisuuden sivuvirroista saatavat proteiiniyhdisteet voidaan jakaa proteiinihydrolysaatteihin ja proteiinikonsentraatteihin sekä proteiini-isolaatteihin. Kalaproteiinikonsentraattia voidaan pitää terveellisenä, kestäväenä ja hyvin ravitsevana tuotteena. Proteiinikonsentraattia voidaan valmistaa niin kokonaisesta kalasta kuin kalasivuvirrastakin. (Venslauskas ym. 2021; Khoshkhoo ym. 2010) 1960-luvulla kalaproteiinikonsentraattia pidettiin yhtenä tehokkaimmista asioista ehkäisemään maailmanlaajuisista aliravitsemusta. Maailmanlaajuinen elintarvike- ja maatalousjärjestö (FAO) on kuvannut kalaproteiinikonsentraattia muiden kestävien kalasta saatavien tuotteiden kaltaiseksi ja soveliaaksi ihmiskäyttöön. Konsentraatti sisältää enemmän proteiinia kuin sen raaka-aineet ja se voidaan jakaa kolmeen tyyppiin (A, B, C). A-tyyppi on hajuton ja mauton jauhe, jonka rasvapitoisuus on alle 1 %. B-tyyppi on jauhe, jolla on tyypillinen kalan maku sekä haju ja sen rasvapitoisuus on n. 3 %. C-tyyppi puolestaan on yleisjauhomainen tuote, joka ei ole yhtä puhdasta kuin A tai B, mutta se kuitenkin valmistetaan hygieenisissä olosuhteissa. Kalaproteiinikonsentraattia voidaan lisätä ruokavalioon ja sillä on ravitsemustutkimusten mukaan positiivisia vaikutuksia etenkin vastasyntyneille ja odottaville äideille. Näiden seikkojen takia kalaproteiinikonsentraatti voi olla merkittävässä roolissa proteiinivajeen torjumisessa tiheään asutuilla alueilla, jossa kärsitään aliravitsemuksesta. (Khoshkhoo ym. 2010)

Kalaproteiinkonsentraattia valmistetaan yleisimmin lämmitysprosessilla, jolla erotetaan sivuvirta komponentteihin. Prosessissa sivuvirrat jauhetaan, jotta ne saadaan homogenoitua, minkä jälkeen syöte kuumennetaan n. 90 °C:een, jotta saadaan erotettua öljy muista komponenteista. Seuraavassa vaiheessa eri faasit erotetaan toisistaan esimerkiksi kolmiolaukan avulla. Erotuksen jälkeen proteiinirikas vesiseos johdetaan haihduttimeen, jossa proteiinituote saadaan konsentroitua lopulliseen muotoon. Tämä prosessi on yleisesti käytetty proteiinkonsentraatin valmistuksessa. Tällä prosessilla saatua konsentraattia käytetään yleisesti eläinrehun valmistukseen. Kuitenkin kalasta ja sivuvirroista saatavaa proteiinkonsentraattia voidaan käyttää myös lisäravinteena muun ruuan yhteydessä. (Venslauskas ym. 2021; Knobi ym. 1971)

Toinen merkittävä proteiinituote, jota saadaan valmistettua kalanjalostusteollisuuden sivuvirroista, on proteiinihydrolysaatti. Hydrolysaatin valmistusmenetelmä poikkeaa proteiinkonsentraatin valmistusmenetelmästä. Yleisimmät menetelmät proteiinihydrolysaattien valmistukseen ovat kemiallinen hydrolyysi joko hapon tai emäksen avulla tai entsyymattinen hydrolyysi tiettyä entsyymiä käyttäen. Hydrolysaattien valmistusprosessi on miedompaa verrattuna proteiinkonsentraattien lämpökäsittelyprosessiin ja siinä saadaan tuotteeksi niin proteiinihydrolysaattia kuin korkea-arvoista kalaöljyäkin. (Venslauskas ym. 2021) Kemiallisella hydrolyysillä voidaan tuottaa kalaproteiinihydrolysaatteja, mutta näin saadut tuotteet päätyvät yleensä muuhun kuin ihmiskäyttöön johtuen niiden kitkerästä mausta. Entsyymattinen hydrolyysi on kemiallista miedompaa hydrolysaattien valmistusmenetelmä. Tällä menetelmällä saadaan valmistettua arvokkaita ja myyntikelpoisia proteiinihydrolysaatteja, joilla on hyvät liukenemis-, emulgointi-, vedenpidätys- ja gelatio-ominaisuudet. Näiden ja muiden suotuisien ominaisuuksien takia kalaproteiinihydrolysaatteja voidaan hyödyntää myös ravitsemus- ja lääkintätarkoituksissa. (Ananey-Obiri ym. 2019)

Kolmas merkittävä sivuvirroista saatava proteiinituote on proteiiniisolaatti. Isolaatti muistuttaa ominaisuuksiltaan niin konsentraattia kuin hydrolysaattia, mutta se eroaa niistä muun muassa valmistusprosessin osalta. Yleisin ja käytännöllisin menetelmä kalaproteiini-isolaatin valmistukseen on pH:n vaihdosmenetelmä. Siinä proteiinit liuotetaan joko korkealla tai matalalla pH:lla, minkä jälkeen liuos jaetaan jakeisiin. Tämän jälkeen proteiinit saostetaan saattamalla ne isoelektriseen pisteeseen (pH 5,5). Viimeiseksi proteiinit erotetaan muista jakeista esimerkiksi sentrifugilla. Näin saadaan

valmistettua proteiini-isolaattia, jolla on lukuisia hyviä ominaisuuksia niin ravinnollisesti kuin toiminnallisesti. Kalaproteiini-isolaatteja voidaan hyödyntää esimerkiksi surimin kaltaisten tuotteiden valmistuksessa ja marinadeissa, joilla saadaan liha tai filee pysymään mehevänä proteiinien hyvän vedenpitokyvyn ansiosta. Proteiini-isolaattia voidaan käyttää myös proteiinihydrolysaattien raaka-aineena, jolloin saadaan tuotettua antioksidanttisia ominaisuuksia omaavia proteiinihydrolysaatteja. (Marmon 2012)

5.2 Kalaöljy

Kalaöljy on toinen merkittävä kalajalostuksen sivuvirroista saatava tuote. Kalat ja kalanjalostuksen sivuvirrat pitävät sisällään erilaisia lipidejä, jotka voidaan erottaa kalamassasta eri prosessien avulla kalaöljyksi. Lipideihin kuuluvat rasvahapot, rasvat, öljyt, vahat, fosfolipidit, glykolipidit, steroidit ja vitamiinit. Kalaöljyn merkittävimmit lipidikomponentit ovat rasvahapot ja etenkin niiden monitydyttymättömät muodot. (Kerry ja Murphy 2007) Kaloista löytyvistä rasvahapoista ihmisen kannalta merkittävimpiä ovat omega-3-luokitellut rasvahapot: eikosapentaeenihappo (EPA) ja dokosaheksaeenihappo (DHA). Kalaöljy koostuu pääosin näistä kahdesta monitydyttymättömästä rasvahaposta, joilla on todistetusti positiivinen vaikutus ihmisten terveyteen. (Kaspars ja Dagnija 2017)

Eri kalalajit sisältävät eri määriä rasvaa ja lipidejä. Yleisesti ottaen meriympäristössä elävät lajit sisältävät enemmän rasvaa kuin sisävesissä elävät lajit. Lipidejä löytyy kaloista kaikissa kudoksissa, mutta eniten niitä on kalojen ihonalaisessa rasvakerroksessa, maksassa, lihaskudoksissa ja sukurauhasissa. Perinteisesti kalaöljyä on valmistettu rasvaisten kalojen rungoista, vähärasvaisten kalojen maksasta ja merinisäkkäiden rasvasta. (Kerry ja Murphy 2007) Kuitenkin fileoinnista, perkauksesta ja muista jalostusprosesseista saatavat sivutuotteet soveltuvat hyvin raaka-aineeksi kalaöljyn valmistamiseen. Sivuvirrat voivat vaihdella koostumuksen suhteen johtuen kalalajien eroista sekä kalan kehonosien eri koostumuksista. Nämä erot eivät kuitenkaan estä sivuvirtojen hyödyntämistä kalaöljyn valmistukseen ja sivuvirtojen erottelulla voidaan parantaa raaka-aineiden soveltuvuutta kalaöljynjalostukseen. (Shahidi 2007)

Kalaöljyn valmistus sivuvirroista on perinteisesti tapahtunut pääsääntöisesti kalajauhon valmistusprosessin sivutuotteena. Kalaöljyn kysyntä on kasvanut viime vuosikymmenien

aikana johtuen sen terveyttä edistävästä vaikutuksesta, minkä seurauksena sen valmistukseen on alettu kiinnittää enemmän huomiota. Kalaöljy on perinteisesti jakanut valmistusprosessit kalajauhon kanssa. Näihin prosesseihin kuuluvat hydraulinen puristus, lämpöerotus ja liotinerotus. (Kaspars ja Dagnija 2017) Prosessointimenetelmät vaihtelevat käytettävien raaka-aineiden mukaan. Yleisimmin käytetty öljynvalmistusmenetelmä on niin sanottu kosteuden vähennysmenetelmä. Tässä menetelmässä kala tai sivuvirta kuumennetaan ensin n. 90 °C:een, jonka jälkeen nestemäiset osat puristetaan esimerkiksi kaksoisruuvipuristimella pois kiinteistä osista, minkä jälkeen raakakalaöljy saadaan erotettua nestemäisistä jakeista sentrifugin avulla. Näin saadaan valmistettua kalaöljyn raakaöljyä. Tämä raakaöljy sisältää pieniä määriä epäpuhtauksia, jotka voivat aiheuttaa öljyyn haju- ja makuhaittoja sekä laskea sen säilyvyyttä. Lopullisen kalaöljyn valmistukseen kuuluu siis näiden epäpuhtauksien poisto. (Rizylia ja Mendis 2014) Jalostetun kalaöljyn valmistus tapahtuu suodattamisen, neutraloimisen, valkaisuun, limanpoiston ja hajunpoiston kautta. Näin valmistettu kalaöljy sisältää n. 30 % omega-3-rasvahappoja. Omega-3-rasvahappojen pitoisuutta voidaan lisätä hyödyntämällä erilaisia prosessointimenetelmiä, kuten molekulaarista tislausta tai ylikriittistä nesteuuttoa. (Cirimina ym. 2017) Näiden menetelmien avulla saadaan valmistettua korkealaatuista kalaöljyä, jolla on lukuisia käyttötarkoituksia niin elintarvikkeissa kuin terveyttä edistävässä tuotteissa.

Kalaöljyä on käytetty aikaisemmin halvempaan vaihtoehtona kasviöljylle muun muassa salaattinkastikkeissa hydratussa muodossa. Kalaöljyä alettiin kuitenkin käyttämään nestemäisessä muodossa, kun huomattiin omega-3-rasvahappojen terveyttä edistävät vaikutukset. Kalaöljyn elintarvikekäytössä on ollut haasteita sen kalaisen hajun vuoksi, mutta sitä on silti käytetty margariineissa, salaattinkastikkeissa, majoneeseissa ja levitteissä. Toinen merkittävä käyttökohde kalaöljylle löytyy ravintolisien ja funktionaalisten elintarvikkeiden muodossa. (Visvanathan ja Mendis 2014) Kalaöljyn terveyttä edistävät vaikutukset perustuvat omega-3-rasvahappoihin. Nykyisen tiedon mukaan pitkäketjuiset monityydyttymättömät rasvahapot voivat estää ja hoitaa sepelvaltimotautia, verenpainetautia, niveltauteja ja autoimmuunisairauksia. Lisäksi ne ovat välttämättömiä normaalille kasvulle, etenkin aivoille ja verkkokalvoille. (Shahidi 2007)

6 MUUT HYÖDYNTÄMISKOHTEET

Tässä kappaleessa käsitellään muita kuin elintarvikehyödyntämiskohteita kalanjalostusteollisuuden sivuvirroista valmistettaville komponenteille ja tuotteille. Tarkastelu keskittyy kalajauhoon ja siihen pohjautuvaan rehuun sekä bioenergiantuotantoon.

6.1 Kalajauho ja rehu

Kalajauholla tarkoitetaan proteiinipitoista jauhomaista materiaalia, jota saadaan valmistettua kalasta ja kalan osista jauhatuksen ja kuivaamisen avulla. Kalajauhoa voidaan valmistaa niin kokonaisista kaloista kuin kalasivuvirrastakin ja sen valmistukseen voidaan käyttää useita eri kalalajeja ja eri kalalajien sivuvirtoja. Perinteisesti kalajauhoa on valmistettu pienistä pelagisista kalalajeista, kuten perunsardellista. (FAO 2020) Historiallisesti kalajauhoa käytettiin laajasti maaeläinten rehussa. Esimerkiksi vuonna 1988 80 % maailman kalajauhon tuotannosta käytettiin ainesosana sikojen ja siipikarjan rehussa. Kuitenkin kalanviljelyn lisääntymisen seurauksesta kalajauhoa alettiin käyttämään enemmän kalojen rehun raaka-aineena ja jo 2010-luvulla n. 55 % prosenttia kaikesta kalajauhosta hyödynnettiin kalanviljelyn rehuna. (Olsen ja Hasan 2012)

Kalajauhon valmistusmenetelmät muistuttavat niin proteiinivalmisteiden kuin kalaöljynkin valmistusmenetelmiä. Osittaisena syynä tähän on, että näitä tuotteita saadaan monista valmistusprosesseista samanaikaisesti. Esimerkiksi jauhetusta sivuvirtasyöttestä voidaan valmistaa lämmitysprosessin kautta proteiinikonsentraatti-, kalaöljy- ja kalajauhojakeita samanaikaisesti. (Venslauskas ym. 2021) Yleisimmät suurimmat kalajauhotehtaat valmistavat kalajauhoa käyttäen paistamis- tai lämmitysprosesseja, puristusprosesseja ja kuivausprosesseja. Kalajauhon laatuun vaikuttaa suuresti sivuvirtamateriaalin luumassan määrä, sillä paljon luuta sisältävä materiaali lisää valmistettavan kalajauhon tuhkapitoisuutta. Kalajauhon laatua voidaan myös parantaa hyödyntämällä höyrykuivausta suoran kuivauksen sijaan. (Bechtel 2007) Kalajauhoa tuotetaan nykyaikana pääsääntöisesti kalanviljelyssä käytettävän rehun valmistamiseen. Vuonna 2018 18 miljoona tonnia eli n. 10 % kaikesta kalamäärästä

päätyi kalajauhon valmistamiseen. Tässä yhteydessä kalajauho listattiin muuhun kuin elintarvikkeeksi, mikä tarkoittaa että lähestulkoon kaikki tuotetusta kalajauhosta päätyi käytettäväksi rehun valmistusaineena. (FAO 2020)

Kalarehu pitää terminä sisällään monenlaisia aineita, joita käytetään rehuna niin kaloille kuin maanisäkkäillekin. Yleisesti kalarehuna on pidetty nestemäistä tuotetta, jota saadaan, kun kaloja tai kalanosia käsitellään esimerkiksi muurahais- tai mineraalilhapolla riittävän pitkään. Näin saadaan tuotettua rehua, joka on nestemäistä ja proteiinipitoista. (Tatterson 1982) Kalarehunvalmistusta voidaan pitää yksinkertaisimpana prosessina sivuvirtojen käsittelylle, sillä siinä kalamassa jauhetaan ja saatetaan kosketuksiin hapon kanssa, minkä jälkeen se varastoidaan usean päivän ajan säiliössä, jossa se valmistuu lopulliseen muotoonsa. (Venlauskas ym. 2021) Nykyisin kalanviljelyssä käytetään kuitenkin kalajauhoon pohjautuvia rehuja johtuen niiden paremmista ravitsemuksellisista ominaisuuksista. (Deutsch ym. 2007)

6.2 Biodiesel

Kalanjalostuksen sivuvirtoja voidaan käyttää elintarvikehyödyntämiskohteiden ja kalajauhon sekä -rehun lisäksi myös uusiutuvan bioenergian tuotantoon biodieselin ja biokaasun muodossa. Biodieselin valmistus kalasivuvirrasta eroaa biokaasun valmistuksesta raaka-aineiden koostumuksen sekä itse käytettävän valmistusprosessin osalta. (Zhang ja El-Mashad 2007)

Biodiesel määritellään yleisesti pitkäketjuisten rasvahappojen monoalkyyliesterinä ja sitä voidaan valmistaa luonnollisista uusiutuvista materiaaleista, kuten kasviöljystä tai eläinrasvasta. Biodieseliä on yleisesti valmistettu kalliista kasviöljyistä, kuten auringonkukkaöljystä, soijaöljystä ja rypsiöljystä, minkä takia sen valmistus on ollut taloudellisesti kannattamatonta. Lisäksi sen valmistus syömäkelpoisista raaka-aineista on voinut vaikuttaa negatiivisesti talouteen, ympäristöön ja sosiaalisiin mielipiteisiin etenkin kehitysmaissa. Kuitenkin nämä negatiiviset seikat voidaan kiertää valmistamalla biodieseliä kalasivuvirrasta, joka soveltuu ominaisuuksiltaan sen valmistamiseen. (Ching-Velasquez ym. 2020)

Kalasisivurtoja voidaan käyttää biodieselin valmistuksessa, mikäli niiden koostumukset sopivat siihen. Yleisin sivurtojen tuote, jota voidaan hyödyntää biodieselin valmistukseen, on kalaöljy tai muut lipidipitoiset sivurtojakeet. (Zhang ja El-Mashad 2007) Kalaöljyä voidaan hyödyntää myös muihin tarkoituksiin kuin dieselin valmistukseen. Kuitenkin osa kalaöljystä voidaan luokitella niin sanotuksi jäteöljyksi, joka ei sovellu käytettäväksi ruokana tai lääketuotteena johtuen hygieenisistä syistä tai öljyn liiallisesta happopitoisuudesta. Tämän tyyppisen öljyn hyödyntäminen kestäväenä energianlähteenä on tehokas tapa vähentää jäte- ja energiakuluja. (Maghami ym. 2015)

Biodieseliä voidaan valmistaa lukuisilla eri menetelmillä, joihin kuuluvat mikroaaltoavustettu lipidierotus, transesteröinti, transesteröinti alkyylisellä katalyytillä sekä tavanomaiset menetelmät, kuten kuiva ja märkä renderöinti. Näistä menetelmistä transesteröinti on yleisin ja käytetyin menetelmä. Transesteröinnissä raaka-aineena on kalaöljy, joka saatetaan reaktioon metanolin kanssa. Reaktiota voidaan katalysoida esimerkiksi metaanin natriumoksidilla. Tämä prosessi biodieselin valmistukseen on suhteellisen yksinkertainen ja biodieselin saanto suhteessa käytettyyn kalaöljymäärään on korkea. Yhtä kalaöljylitraa kohti tällä menetelmällä on saatu tuotettua 0,9 litraa biodieseliä. Transesteröintiä voidaan tehostaa käyttämällä mikroaaltoavusteista erotusta öljyn erottamiseen sivurtoista. (Yuvaraj ym. 2016) Toinen vartenotettava menetelmä biodieselin valmistamiseen kalasisivurtoista on entsyymattainen katalyyysi. Tällä menetelmällä voidaan saavuttaa korkeammat reaktionopeudet kuin happopohjaisessa katalyyssissä, minkä lisäksi tämä menetelmä ei ole niin herkkä käytettävän kalaöljyn laadulle. Kalaöljyn vapaiden aminohappojen ja veden määrällä on suuri vaikutus happokatalysoidun reaktion toimintaan. Tämä menetelmä on kuitenkin kalliimpi kuin kemikaaliset katalyyssimenetelmät, minkä takia menetelmä ei ole kaupallisessa käytössä. (Ching-Velasquez ym. 2020)

Kalasisivurtoista valmistettua biodieseliä voidaan käyttää sellaisenaan dieselpoltto moottoreissa polttoaineena tai jatkettuna öljydieselissä. Biodieselillä on alemmat myrkyllisyysarvot, parempi biohajoavuus, hyvät voiteluominaisuudet ja korkeampi leimahduspiste verrattuna öljypohjaiseen dieseliin. (Zhang ja El-Mashad 2007; Ching-Velasquez ym. 2020)

6.3 Biokaasu

Biokaasua valmistetaan anaerobisella mädätyksellä orgaanisesta aineksestä sekoitetun bakteeriviljelmän avulla. Biokaasu koostuu pääsoin metaanista ja hiilidioksidista, mutta riippuen käytettävän orgaanisen materiaalin koostumuksesta ja reaktion opeointiolosuhteista biokaasun metaanipitoisuus voi vaihdella välillä 50–80 %. Biokaasun valmistusprosessiin kuuluu myös lukuisia osaprosesseja, jotka tapahtuvat sarjassa tai samanaikaisesti pääprosessin kanssa. Näiden tarkoituksena on erotella alkuperäinen orgaaninen aines osiin, jotka voidaan jakaa aminohappoihin, sokereihin ja pitkäketjuisiin aminohappoihin. Niiden vaiheiden tuotteet muokataan käymisprosessilla lyhytketjuisiksi haihtuviksi rasvahapoiksi, alkoholeiksi, ammoniakiksi ja vetysulfideiksi. Näistä lyhytketjuiset rasvahapot ja alkoholit prosessoidaan etikkahapoksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi. Lopulta nämä tuotteet saadaan metanogeenisten bakteerien avulla metaaniksi ja hiilidioksidiksi biokaasuun. (Zhang ja El-Mashad 2007)

Mädätysprosessilla voidaan tuottaa biokaasua kalasivuvirrasta. Toisin kuin biodieselin kohdalla mädätysprosessi ei vaadi raaka-aineksi kalaöljyä tai lipidipitoisia aineita, vaan sen lähtöaineeksi voidaan käyttää sivuvirtaprosessien vähärasvaisia jakeita. Esimerkiksi kalaöljyn valmistuksen yhteydessä syntyvää puristettua kalamassaa voidaan hyvin käyttää mädätysprosessin lähtöaineena. Kalaraaka-aineen lisäksi mädätysprosessissa voidaan prosessoida samanaikaisesti esimerkiksi lantaa tai jätevesiä, mikä on edullista jätehuollon kannalta. Biokaasun valmistuksen sivutuotteena saadaan digestaattia, jota voidaan hyötykäyttää lannoitteena. (Yuvaraj ym. 2016)

Kalasivuvirtaa voidaan hyödyntää biokaasun tuotantoon, jolloin tuotteina saadaan biokaasua ja lannoitetta. Biokaasulla on lukuisia käyttökohteita, joista merkittävin on energiantuotanto. Biokaasua voidaan käyttää polttoaineena polttomoottoreissa, turbiineissa sekä polttokennoissa lämmön ja energian tuotantoon. (Zhang ja El-Mashad 2007) Energiantuotannon lisäksi biokaasua voidaan hyödyntää biometaanin puhdistamisessa ja biovetyjen sekä biometanolin valmistuksessa. (Venslauskas ym. 2021)

7 TULEVAISUUDEN TRENDI

Kalamateriaalin tehokkaampi hyödyntäminen on hyvin tärkeä aihe tulevaisuutta ajatellen. Maapallon populaation uskotaan kasvavan 9,2 miljardiin vuoteen 2050 mennessä. Kasvava populaatio aiheuttaa haasteita maailmanlaajuiselle ruokaturvallisuudelle ja ympäristön hyvinvoinnille. Kala ja kalatuotteet ovat merkittävässä roolissa puhuttaessa kestävästä ruoan tuotannosta maailmalla. Etenkin alikehittyneissä maissa sekä kehitysmaissa kala ja muut merestä saatavat ruokatuotteet ovat tärkein halvan proteiinin lähde. Tästä johtuen on ensisijaisen tärkeää, että kalaa aletaan käyttämään materiaalina tehokkaammin ja kalasivuvirtoja aletaan arvostamaan raaka-aineena. (Ozogul ym. 2019)

Jotta sivuvirtoja voitaisiin hyödyntää mahdollisimman hyvin, täytyy tehdä selväksi, että sivuvirrat ovat todella arvokkaita raaka-aineita eivätkä jätettä. Tietyillä kalanjalostusalueilla sivuvirtojen hyödyntäminen on lisääntynyt kasvaneiden saalismäärien mukana, mutta kuitenkin suuri osa arvokkaasta sivuvirrasta päätyy jätteeksi. Kalamateriaalin hyödyntämistaste ja hyödyntämiskohteet vaihtelevat todella suuresti niin alueiden, maiden kuin maanosienkin välillä. Perinteet, kulinaariset trendit, ja elämäntyyli vaikuttavat kalan hyödyntämiskohteisiin eri alueilla. Sivuvirtojen arvostuksen lisääminen on suuri haaste kalanjalostusteollisuuden sivuvirtojen hyötykäyttämiseksi tulevaisuudessa. Vaikka sivuvirtojen hyötykäyttäminen tuottaisi enemmän taloudellista arvoa, mahdollistaisi raaka-aineiden täydellisen hyödyntämisen ja lisäisi alan tuottoja ja vakautta, ei hyötykäyttäminen ole mahdollista, jos sivuvirtoja kohdellaan vain pois heitettävänä jätteenä. (Šimat 2021)

Hävikin ja jätteen vähentäminen kalastuksessa ja kalanjalostuksessa onnistuu, mikäli poistetaan hävikin ja jätteen syntymiseen johtavat tekijät asianmukaisilla teknologisilla, poliittisilla ja taloudellisilla päätöksillä. Euroopan unioni on ottanut vuonna 2015 käytäntöön säädöksen koskien kalastajien vastuuta vähentää kalahävikkii pyydystysvaiheessa. Tässä säädöksessä kalastajia veloitetaan laskemaan myös alamittaiset kalat mukaan saaliskiintiöön ja käyttämään pienemmät kalat esimerkiksi lääkkeiden ja lisäravinteiden valmistamiseen. Teknologiset menetelmät hyötykäyttämisen parantamiseen liittyvät kalan ja sivuvirran säilyvyyden varmistamiseen sekä toimivimpien erotusmenetelmien kehittämiseen. Tärkeässä roolissa on myös

kalastajien kouluttaminen ja taitojen kehittäminen sekä kuluttajien vaatimusten kohtaaminen uusien ruokien ja tuotteiden merkeissä. (Racioppo ym. 2021; European Commission 2019)

8 YHTEENVETO

Kalasivuvirrasta voidaan valmistaa paljon erilaisia tuotteita, joilla on arvoa. Nykyinen kalanpyydystys ei voi enää lisätä saalismääriä ilman kalakantojen vaarantumista, minkä takia sivuvirtojen hyötykäyttäminen on tärkeää. Sivuvirrat ovat helposti pilaantuvia, minkä takia niiden säilönnässä on noudatettava erityistä huolellisuutta. Sivuvirtamateriaaleja voidaan hyödyntää monenlaisiksi tuotteiksi. Näitä tuotteita ovat mm. proteiinijalosteet, kalaöljy, kalajauho, rehu ja kalapohjaiset biopoltoaineet. Tuotteiden käyttökohteina ovat elintarvikkeet, terveyttä edistävät tuotteet ja muut tuotteet.

Kalasivuvirralla on olemassa käsittelymenetelmiä ja konkreettisia prosesseja, joiden avulla sivuvirrasta saadaan eroteltua arvokkaita jakeita. Näiden prosessien käyttäminen vaihtelee suuresti eri puolilla maapalloa. Isoimmat ongelmat liittyen kalasivuvirran hyötykäyttämiseen löytyvät sivuvirran huonosta säilyvyydestä ja ihmisten negatiivisista asenteista. Kalasivuvirta on äärimmäisen herkkä hapetuspohjaiselle pilaantumiselle. Pilaantumista vastaan on kehitetty menetelmiä, kuten huuhtominen antioksidanttisella liuoksella. Näitä menetelmiä ei kuitenkaan ole tutkittu vielä tarpeeksi, jotta niitä voitaisiin hyödyntää kaupallisissa prosesseissa. Kalasivuvirtaa on kohdeltu ja kohdellaan edelleen joissakin paikoissa jätteenä, jota ei voida hyödyntää. Tämä ei kuitenkaan pidä paikkaansa. Kalasivuvirran hyötykäyttämisen kehityksen kannalta on äärimmäisen tärkeää saada ihmiset ympäri maailman ymmärtämään sivuvirtojen arvokkuus raaka-aineena.

Tulevaisuuden jatkotutkimuksia sivuvirtojen hyötykäyttämiseksi voisi olla liittyen sivuvirtojen säilönnän parantamiseen ja valmistusprosessien kustannusarviointiin. Tulevaisuuden kannalta on tärkeää selvittää, voidaanko kaikkia hyödyntämismenetelmiä käyttää taloudellisesti kannattavasti.

LÄHDELUETTELO

AAH (Actions Against Hunger) 2021. World Hunger: Key facts and statistics 2021 [verkkodokumentti]. New York USA. Actions Against Hunger saatavissa: <https://www.actionagainsthunger.org/world-hunger-facts-statistics> [viitattu 25.10.2021]

Al Kwhali F., Pateiro M, Domínguez R., Lorenzo J. M., Gullón P., Kousoulaki K., Ferrer E., Berrada H., Barba F. 2019. Innovative Green Technologies of Intensification for Valorization of Seafood and Their By-Products. *Marine Drugs* 17 (12) [verkkoartikkeli] saatavissa: <https://www.mdpi.com/1660-3397/17/12/689/htm> [viitattu 21.03.2022]

Ananey-Obiri D., Lovie G., Reza T. 2019. Chapter 6 - Proteins From Fish Processing By-Products. Teoksessa: Toim. Charis M. Galanski, Proteins: Sustainable Source, Processing and Applications. Academic Press 2019. S. 163-191 ISBN 9780128166956

Aspevik T., Oterhals, Å., Rønning, S. B., Altintzoglou, T., Wubshet, S. G., Gildberg, A., Afseth N. K., Whitaker, R. D. & Lindberg, D. 2017, Valorization of proteins from co- and by-products from the fish and meat industry. *Topics in Current Chemistry (cham)* 375 (3) [verkkolehti] Saatavissa: https://web.archive.org/web/20200306060536id_/https://no.fima.brage.unit.no/no.fima-xmlui/bitstream/handle/11250/2481252/Valorization+of+proteins+revision+-+submitted.pdf?sequence=2 [viitattu 21.03.2022]

Bechtel P. J. 2007. By-products from seafood processing for aquaculture and animal feeds. Teoksessa: Shahidi F. (toim.) Maximising the Value of Marine By-Products. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: Woodhead Publishing S. 435-449 ISBN 9781845690137

Brander K. M. 2007. Global fish production and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104243 [verkkolehti] Saatavissa: (50) <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.0702059104> [viitattu 21.03.2022]

Caruso G. 2015. Fishery Wastes and By-products: A Resource to Be Valorised. *Journal of Fisheries Sciences*.com 9 (4) S. 80-80 243 [verkkolehti] Saatavissa: https://www.researchgate.net/profile/Gabriella-Caruso-2/publication/284625083_Fishery_Wastes_and_By-products_A_Resource_to_Be_Valorised/links/565584c908ae1ef9297723b1/Fishery-Wastes-and-By-products-A-Resource-to-Be-Valorised.pdf [viitattu 21.03.2022]

Ching-Velasquez J, Fernández-Lafuente R., Rodrigues R. C., Plata V., Rosales-Quintero A., Torrestia B. 2020. Production and characterization of biodiesel from oil of fish waste by enzymatic catalysis. *Renewable Energy* 153 S. 1346-1354 [verkkolehti] Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148120302950> [viitattu 21.03.2022]

Ciriminna R., Meneguzzo F., Delisi ., Pagliaro M. 2017. Enhancing and improving the extraction of omega-3 from fish oil. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 5 S. 54-59 [verkkolehti] Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352554116300419> [viitattu 21.03.2022]

Deutsch L., Gräslund S., Folke C., Troell M., Huitric M., Kautsky N., Lebel L. 2007. Feeding aquaculture growth through globalization: Exploitation of marine ecosystems for fishmeal. *Global Environmental Change* 17 (2) S. 238-249 [verkkolehti] Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378006000719> [viitattu 21.03.2022]

European Commission 2019. Discarding and the Landing Obligation Fisheries. Brussels: European Union. [Verkkodokumentti] saatavilla: https://ec.europa.eu/oceans-and-fisheries/fisheries/rules/discarding-fisheries_en [viitattu 21.03.2022]

European Union 2020. Home, Press corner, [verkkodokumentti] Changing how we produce and consume: New Circular Economy Action Plan shows the way to a climate-neutral, competitive economy of empowered consumers. Brussels: European Union. Saatavissa: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_420 [viitattu 13.10.2021]

Falch E., Sandbakk M., M. Aursand 2007. On-board handling of marine by-products to prevent microbial spoilage, enzymatic reactions and lipid oxidation. Teoksessa: Shahidi F. (toim.) Maximising the Value of Marine By-Products. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: Woodhead Publishing S. 47-64 ISBN 9781845690137

FAO, 2012. The State of World Fisheries and Aquaculture 2012 Rome. 209 s. ISBN 978-92-5-107225-7 [verkkoraportti] saatavissa: <http://dspace.fudutsinma.edu.ng/jspui/bitstream/123456789/343/1/i2727e.pdf> [viitattu 21.03.2022]

FAO, 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. ISBN 978-92-5-132692-3 [verkkoraportti] saatavissa: <https://www.fao.org/3/ca9229en/ca9229en.pdf> [viitattu 21.03.2022]

FAO, 2021. Fishery Statistical Collections Global Production, Dataset Global Production Statistics (online query), Global Production Statistics 1950-2019. [verkkodokumentti] FAO saatavissa: https://www.fao.org/figis/servlet/TabLandArea?tb_ds=Production&tb_mode=TABLE&tb_act=SELECT&tb_grp=COUNTRY [viitattu 04.11.2021]

Ghaly A. E., Ramakrishnan V. V., Brooks M. S., Budge S. M., and Dave D., 2013. Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils: A Critical Review. Journal of Microbial and Biochemical Technology 5 (4) S. 107-129 [verkkoraportti] saatavissa: https://www.researchgate.net/profile/Vegneshwaran-Vasudevan-Ramakrishnan/publication/267032568_Fish_Processing_Wastes_as_a_Potential_Source_of_Proteins_Amino_Acids_and_Oils_A_Critical_Review/links/596ce9400f7e9bfdd89f5f8b/Fish-Processing-Wastes-as-a-Potential-Source-of-Proteins-Amino-Acids-and-Oils-A-Critical-Review.pdf [viitattu 21.03.2022]

Gahly A.E. D. Dave, S. Budge, and M.S. Brooks 2010. Fish Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques: Review. American Journal of Applied Sciences 7 (7) S. 859-

877 [verkkolehti] saatavissa: <https://blog.ub.ac.id/heniskusanti14/files/2013/10/2010Fish-Spoilage-Mechanisms-and-Preservation-Techniques-Review-.pdf> [viitattu 21.03.2022]

Haizhou W., Mursalin S. Undeland I. 2021. Controlling hemoglobin-mediated lipid oxidation in herring (*Clupea harengus*) co-products via incubation or dipping in a recyclable antioxidant solution. *Food control* Volume 125 [verkkoartikkeli] saatavissa: [https://www.sciencedirect-com.pc124152.oulu.fi:9443/science/article/pii/S0956713521001018](https://www.sciencedirect.com/pc124152.oulu.fi:9443/science/article/pii/S0956713521001018) [viitattu 21.03.2022]

Haizhou W., Semhar G., Undeland I. 2020. Stabilization of herring (*Clupea harengus*) by-products against lipid oxidation by rinsing and incubation with antioxidant solutions. *Food Chemistry*. Volume 316 [verkkoartikkeli] saatavissa: <https://www.sciencedirect-com.pc124152.oulu.fi:9443/science/article/pii/S0308814620301916> [viitattu 21.03.2022]

Jacobsen C. 2020. Developing new solutions for better utilization of seafood side-streams [verkkodokumentti] Open Access Government, Jacobsen Charlotte. Saatavissa: <https://www.openaccessgovernment.org/developing-new-solutions-for-better-utilisation-of-sea-food-side-streams/98871/> [viitattu 16.11.2021]

Kaspars I., Dagnija B. 2017. Extraction of fish oil using green extraction methods: a short review. *Enerhy Procedia* vol. 128 S.477-483 [verkkoraportti] saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217338754#> [viitattu 21.03.2022]

Knobi G., Stillings B. R., Fox W. E., Hale M. B. 1971. Fish Protein Concentrate. *Commercial Fisheries Review* 33 (8-7) S. 54-63 [verkkoraportti] saatavissa: <https://spo.nmfs.noaa.gov/sites/default/files/pdf-content/MFR/mfr337-8/mfr337-86.pdf> [viitattu 21.03.2022]

Khoshkhoo Z., Motalebi A., Khanipour A. A., Firozjaee H. K., Nazemi M. ja Mahdabi M 2010. Study on Changes of Protein and Lipid of Fish Protein Concentrate (FPC) Produced from Kilkas in VP and MAP Packages at Light and Darkness condition During

Six Months. *International Journal of Environmental Science and Development*, 1 (1) S. 101-106 [verkkoartikkeli] saatavissa: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.673.9652&rep=rep1&type=pdf> [viitattu 21.03.2022]

Kerry J. P., Murphy S.C. 2007. Physical and chemical properties of lipid by-products from seafood waste. Teoksessa: Shahidi F. (toim.) *Maximising the Value of Marine By-Products*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: Woodhead Publishing S. 22-46 ISBN 9781845690137

Kristisson H. G., A.E. Theodore, B. Ingadottir 2007. Chemical processing methods for protein recovery from marine by-products and underutilized fish species. Teoksessa: Shahidi F. (toim.) *Maximising the Value of Marine By-Products*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: Woodhead Publishing S. 144-168 ISBN 9781845690137

Luke (Luonnonvarakeskus) 2019, Kala ja riista, Rakenne ja tuotanto, Kokonaiskalantuotanto 2019 [verkkodokumentti] Helsinki: Luonnonvarakeskus saatavissa: <https://stat.luke.fi/tilasto/7241> [viitattu 04.10.2021]

Maghami M., Sadrameli S.M., Ghobadian B. 2015. Production of biodiesel from fishmeal plant waste oil using ultrasonic and conventional methods. *Applied Thermal Engineering* 75 S. Production of biodiesel from fishmeal plant waste oil using ultrasonic and conventional methods. S. 575-579 [verkkoartikkeli] saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431114008345> [viitattu 21.03.2022]

Marine Conservation Society (MCS), Marine Stewardship Council, SeaWeb's Seafood Choices and Sustain. the Alliance for better food and farming 2010. Good Catch ...The essentials. Helping You Navigate Seafood Sustainability. [verkkolehti] saatavissa: <https://www.directseafoods.co.uk/wp-content/uploads/pdf/direct-seafoods-good-catch.pdf> [viitattu 21.03.2022]

Marmon S. 2012, Protein isolation from herring (*Clupea harengus*) using the pH-shift process. ISBN: [verkkokirja] saatavissa: 978-91-7385-665-2 <https://www.proquest.com/openview/ea8385ae37b9907a64488a5cabad7b40/1?pq-origsite=gscholar&cbf=18750&diss=y> [viitattu 21.03.2022]

Merino G., Barange M., Blanchard J. L., Harle J., Holmes R., Allen I., Allison E. H., Badjeck M. K., Dulvy N. K., Holt J., Jennings S., Mullan C., Rodwell L. D., 2012. Can marine fisheries and aquaculture meet a growing human population in a changing climate? *Global Environmental Change*, 22 (4) S.795-806 [verkkootikkeli] saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378012000271> [viitattu 21.03.2022]

Nappa M., Petteri K., Rasa S., Keštutis N., Arvydas N. ja Tore R. 2013. Concepts and Profitability Forutilisation of Fish-Industry Side-Stream. *Rural Development* 2013 6 (3) S.95-101 [verkkolehti] saatavissa: https://www.researchgate.net/profile/Svitlana-Kalenska/publication/282576328_The_use_of_Oilseed_Meal_for_the_Production_of_Bioogas_Violeta_Makarevicienė1_Svitlana_Kalenska2_Virginija_Skorupskaite1_Anatolii_Yunik2_Milda_Gumbyte1_Prospects_of_Sorghum_Sorghum_Moench_Bioenergetic_P/links/5612c96308aec7900afaf293/The-use-of-Oilseed-Meal-for-the-Production-of-Bioogas-Violeta-Makarevicienė1-Svitlana-Kalenska2-Virginija-Skorupskaite1-Anatolii-Yunik2-Milda-Gumbyte1-Prospects-of-Sorghum-Sorghum-Moench-Bioenergetic.pdf#page=96 [viitattu 21.03.2022]

Nilsson L. ja Gram L., 2002 Improving the control of Pathogens in fish products. Teoksessa: Bremner H. A. (toim.) *Safety and Quality Issues in Fish Processing* Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology, and nutrition. S.54-84 ISBN 978-1-85573-552-1

Olsen R. L., Hasan M. R. 2012. A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. *Trends in Food Science & Technology* 27 (2) S. 120-128 [verkkootikkeli] saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224412001197> [viitattu 21.03.2022]

Ozogul F., Cagalj M., Šimat V., Ozogul Y., Tkaczewska J., Hassoun A., Ait K. Abderrahmane A. K., Esmeray K., Rathod N. B., Phadke G. G. 2021, Recent developments in valorisation of bioactive ingredients in discard/seafood processing by-products. *Trends in Food Science & Technology* 116 S.559-582. [verkkoartikkeli] saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224421004945> [viitattu 21.03.2022]

Racioppo A., Speranza B., Campaniello D., Sinigaglia M., Cordo M. R., Bevilacqua A. 2021. Fish Loss/Waste and Low-Value Fish Challenges: State of Art, Advances, and Perspectives. *Foods* 2021, 10 [verkkoartikkeli] saatavissa: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/11/2725> [viitattu 21.03.2022]

Rizylia V., Mendis E. 2014. Biological, Physical, and Chemical Properties of Fish Oil and Industrial Applications. Teoksessa: Se-Kwon Kim (toim.) *Seafood Processing By-Products Trends and Applications*. S. 286-310 ISBN 978-1-4614-9589-5

Ruiz-Salmón I., Margallo M., Laso J., Vilanueva-Rey P., Mariño D., Quinterio P., Dias C. A., Leonor N. M., Marques A., Feijoo G., Moreira M. T., Loubet P., Sonnemann G., Morse A., Cooney R., Clifford E., Rowan N., Méndez-Paz D., Iglesias-Parga X., Anglada C., 2020. Addressing challenges and opportunities of the European seafood sector under a circular economy framework. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 13 (1) S. 101-106 [verkkoartikkeli] saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468584420300052> [viitattu 21.03.2022]

Shahidi F. 2007. Marine oils from seafood waste. Teoksessa: Shahidi F. (toim.) *Maximising the Value of Marine By-Products*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: Woodhead Publishing S. 258-278 ISBN 9781845690137

Šimat V., 2021. Valorization of seafood processing by-products. Teoksessa: Bhat Rajeev (toim.) *Valorization of Agri-Food Wastes and By-Products*. Academic Press S. 515-536 ISBN 9780128240441

Skjøndal Bar E., 2015. A case study of obstacles and enablers for green innovation within the fish processing industry. *Journal of Cleaner Production*, 90, S. 234-243 [verkkolehti] Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614012499> [viitattu 21.03.2022]

Surasani V. K. R. 2018. Acid and alkaline solubilization (pH shift) process; a better approach for the utilization of fish processing waste and by-products. *Environmental Science and Pollution Research*. 25. S. 18345-18363. [verkkoartikkeli] saatavissa: <https://link-springer-com.pc124152 oulu.fi:9443/article/10.1007/s11356-018-2319-1> [viitattu 21.03.2022]

Tatterson I. N. 1982 FISH SILAGE -- PREPARATION, PROPERTIES AND USES. *Animal feed Science and Technology* 7 S.153-159 [verkkoartikkeli] saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0377840182900505?via%3Dihub> [viitattu 21.03.2022]

UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development), 2017. A Man-made Tragedy: The Overexploitation of Fish Stocks [verkkodokumentti]. Geneva 10 Svetsi. United Nations Conference on Trade and Development. Saatavissa: <https://unctad.org/news/man-made-tragedy-overexploitation-fish-stocks> [viitattu 25.10.2021]

United Nations 2021. The Sustainable Development Goals Report 2021. Reports, SG Progress report [verkkodokumentti] saatavissa: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2021/> [viitattu 25.10.2021]

Venslauskas K., Navickas K., Nappa M., Kangas P., Mozūraitytė R., Šližytė R., Župerka V. 2021. Energetic and Economic Evaluation of Zero-Waste Fish Co-Stream Processing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18 (5) [verkkoartikkeli] saatavissa: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/5/2358> [viitattu 21.03.2022]

Vielma J., Setälä J., Airaksinen S., Kankainen M., Tarkki V., Kaitaranta J, Norström A, Nurmio J. 2013. Vähäarvoisen kalamateriaalin jalostus lisäarvotuotteiksi

liiketoimintanäkymät [verkkodokumentti] Helsinki: Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Saatavissa: <https://docplayer.fi/5620621-Vahaarvoisen-kalamateriaalin-jalostus-lisaarvotuotteiksi-liiketoimintanakyamat.html> [viitattu 29.11.2021]

Välimaa A., Mäkinen S., Mattila P., Marnila P., Pihlanto A., Mäki Maarit, Hiidenhovi J. 2019. Fish and fish side streams are valuable sources of high-value components. *Food Quality and Safety*, 3 (4) S. 209–226 [verkkoartikkeli] saatavissa: <https://academic.oup.com/fqs/article/3/4/209/5648225?login=false> [viitattu 21.03.2022]

World Wildlife Fund (WWF), 2021. Threats, Overfishing [verkkodokumentti] Washington, DC: World Wildlife Fund saatavissa: <https://www.worldwildlife.org/threats/overfishing> [viitattu 25.10.202]

Ye Y. ja Gutierrez N. L. 2017. Ending fishery overexploitation by expanding from local successes to globalized solutions. *Nature ecology & evolution*, 1 (0179) S. 1-5 [verkkoartikkeli] saatavissa: https://www.researchgate.net/profile/Yimin_Ye/publication/318013308_Ending_fishery_overexploitation_by_expanding_from_local_successes_to_globalized_solutions/links/5c3ee6de92851c22a37890a6/Ending-fishery-overexploitation-by-expanding-from-local-successes-to-globalized-solutions.pdf [viitattu 21.03.2022]

Yuvaraj D., Bharathiraja B., Rithika J., Dhanasree S., Ezhilarasi V., Lavanya A. ja Praveenkumar R. 2016. Production of biofuels from fish wastes: an overview. *Biofuels* 10 (3) S. 301-307 [verkkoartikkeli] saatavissa: https://www.researchgate.net/profile/Drb-Bharathiraja/publication/308858921_Production_of_biofuels_from_fish_wastes_an_overview/links/5a2e3000a6fdccfbbf89b196/Production-of-biofuels-from-fish-wastes-an-overview.pdf [viitattu 21.03.2022]

Zhang R. ja El-Mashad H. 2007. Bio-diesel and bio-gas production from seafood processing by-product. Teoksessa: Shahidi F. (toim.) *Maximising the Value of Marine By-Products*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: Woodhead Publishing S. 460-485 ISBN 9781845690137