

Elintarvikkeprosessien erilleen kerättyjen sivujakeiden hyödyntäminen - Sivukierto

Marja Lehto, Risto Kuisma, Maarit Mäki, Tuija Peltomäki ja Hanna-Riitta Kymäläinen



Sisällys

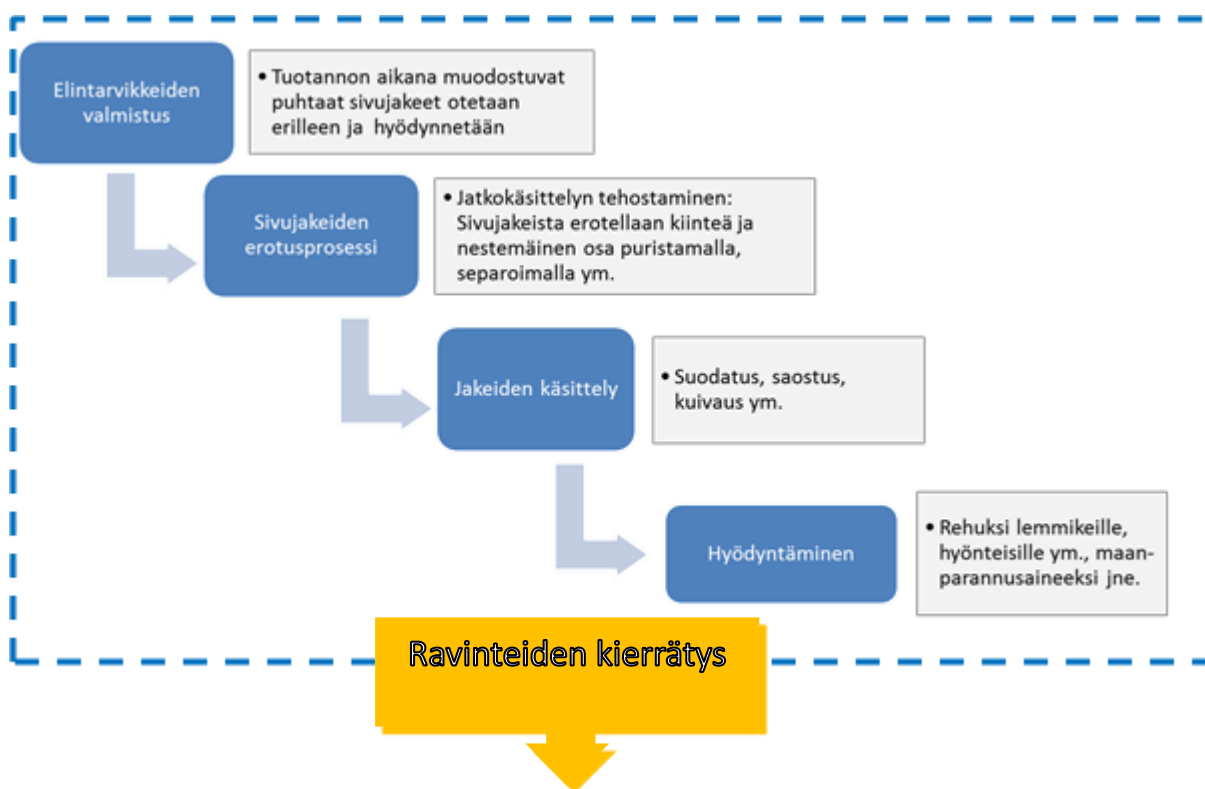
1. Tiivistelmä	3
2. Hankkeen tausta ja tavoitteet.....	3
3. Hankkeen osapuolet ja menetelmät.....	5
4. Hankkeen tulokset	6
4.1 Eri sivujakeiden tulokset	6
4.2 Hankkeen tavoitteiden ja suunniteltujen tulosten toteutuminen ja mittarit.....	8
5. Hankkeen vaikuttavuus ravinteiden kiertoon ja vesistökuormitukseen	9
6. Viestinnän toteutuminen ja tulokset	11
7. Tulosten kestävyys ja hyödyntäminen.....	11
7.1 Arvio tulosten kestävydestä, konkreettisuudesta ja riskeistä.....	11
7.2 Ehdotukset hankkeen tulosten hyödyntämiseksi	13
8. Talousraportti	13
9. Suositukset tulevia hankkeita ja ohjelmia varten	14
10. Johtopäätökset.....	14
Lähteet	40

Liitteet 1- 5

1. Tiivistelmä

Sivukierto-hankkeessa tarkasteltiin pienjuustolassa muodostuvan heran, teurastamosta tulevan veren sekä kurkun ja tomaatin varsien määriä, laatua, käsittelyä ja hyödyntämistä. Lisäksi selvitettiin juustolan ja teurastamon jätevesien laatua, muun muassa niiden ravinne-, rasva- sekä orgaanisen aineen pitoisuuksia. Hankkeen tavoitteena oli kehittää elintarvikeraaka-aineita tuottaville ja jatkojalostaville yrityksille yrityskohtaisia toimintamalleja sivujakeiden käsittelyyn (kuva 1). Tehokkaamman sivutuotteiden käsittelyn avulla pyrittiin parantamaan ravinteiden kiertoa ja vähentämään ravinteiden kulkeutumista vesistöihin. Hankkeen toteuttivat Luonnonvarakeskus ja Helsingin yliopisto 1.11.2018 – 31.12.2020.

Juuston valmistuksen sivutuotteena syntyvälle heralle pienen mittakaavan tuotantoon sopivina käyttösovelluksina testattiin laboratorio- ja pilotmittakaavassa ricotta-juuston valmistusta ja siinä muodostuvan nesteen fermentoimista. Kasvisivujakeita voidaan käsitellä ja hyödyntää monipuolisesti, ja niiden ravinteet tulisi saada tehokkaasti kiertoon. Tuotantoeläinten veri on hyvä proteiinin lähde, ja se pitäisi kerätä teurastamoilla huolellisesti talteen ja hyödyntää nykyistä tehokkaammin. Heran, kasvisivujakeiden, veren ja rasvan jatkojalostus vähentää hävikkiä ja tuotannosta aiheutuvaa ympäristön kuormitusta.



Kuva 1. Hankkeen periaatekaavio.

2. Hankkeen tausta ja tavoitteet

Elintarvikeprosesseissa käytetään runsaasti vettä, ja päätuotteen ohessa muodostuu kiinteitä sekä nestemäisiä sivujakeita. Monissa prosesseissa puhtaita ja ravinnepitoisia sivujakeita ei erotella erilleen,

vaan ne pääsevät jäte- ja pesuvesien sekaan, nostavat jätevesimäärää ja jätevesien ravinnetasoa, kuormittavat jätevedenkäsittelyprosesseja ja lisäävät sekä sivujakeiden että jätevesien käsittelykustannuksia ja riskiä ravinteiden pääsystä vesistöihin. Puhtaat, erilleen kerätyt sivujakeet on helpompi hyödyntää kuin erottelemattomat. Hakkeen pääpaino oli kasvisten, lihan ja maidon käsittelystä tulevilla sivujakeilla, kuten kasvisnesteillä ja kiintojakeella, veressä, teurastamojätevesissä, rasvoissa ja herassa. Tilannetta, jossa jakeita ei erotella, verrattiin tilanteeseen, jossa ravinnepitoiset jakeet kerätään ja käsitellään erillään. Vertailussa mitattiin ja arvioitiin jätevesien ravinnepitoisuuksia ja sivutuotteiden määriä sekä ravinteiden kiertoa.

Kasvissivutuotteiden hyödyntäminen eri tarkoituksiin edellyttää usein ylimääräisen nesteen poistoa, sillä märkä sivutuote on vaikea ja kallis kuljettaa tai esimerkiksi kompostoida. Kasviskomposteista erottuu usein huomattava määrä suotovesiä. Salaattimassasta voidaan helposti puristaa nestettä erilleen lähes puolet massan painosta. Jos paljon orgaanista ainetta sekä ravinteita sisältävät nesteet johdetaan suoraan viemäriin ja edelleen jätevedenkäsittelyyn, niillä on iso kuormitusvaikutus puhdistamoilla tai ympäristössä. Ravinnepitoiset nesteet pitäisi käsitellä sellaiseen muotoon, että ne olisi helppo varastoida ja hyödyntää esimerkiksi maanparannusaineena tai rehuna.

Juuston valmistuksessa syntyvä hera on elintarvikkeiden valmistukseen sopivaa sivuvirtaa, ja suuremmat meijeriyritykset jalostavatkin heran ja sen eri fraktiot erilaisiksi tuotteiksi. Pienemmille toimijoille heran käsittely on kuitenkin liian kallista, ja sitä luovutetaan eläinten rehuksi, levitetään pellolle sellaisenaan tai johdetaan jätevedenpuhdistamolle. Heran korkeimmat COD-pitoisuudet ovat 60–80 g/l ja BOD-pitoisuudet vastaavasti 30–59 g/l (Brazzale ym. 2019). Maidon prosessoinnissa syntyviä ravinnepitoisia sivuvirtoja ovat prosessin huuhtovedet, ns. vesimaidot, joita syntyy tuotevaihtojen yhteydessä sekä tuotannon aloituksessa ja lopetuksessa. Meijerin jätevesien COD-pitoisuudet vaihtelevat välillä 0,18–10 g/l (Carvalho ym. 2013).

Verta syntyy huomattavia määriä lihateollisuuden päivittäisen toiminnan seurauksena. Koostumuksensa perusteella veri on erinomainen välttämättömien aminohappojen ja hemiraudan lähde. Teurasverta kertyy vuosittain Suomessa noin 20 miljoonaa litraa, joka on määrältään 10 % kaikista teurastamoiden tuottamista sivutuotteista. Vain pieni osa (5 %) verestä hyödynnetään elintarvikkeena. Teurastamoista veri kuljetaan käsittelylaitokselle, turkiseläinten rehuksi tai biokaasulaitokseen. Osa teurasverestä menee viemäriin ja edelleen jätevedenpuhdistamolle.

Rasvoja muodostuu elintarviketeollisuudesta, teurastamoista, suurkeittiöistä, ravintoloista ym. teollisuudesta sekä kotitalouksista. Osa rasvasta kerätään hyötykäyttöön, mutta osa päätyy rasvakaivoihin ja viemäriputkistoihin. Vesihuoltoyhdistyksen tekemässä kyselyssä 68 % vesihuoltolaitoksista ilmoitti, että rasvat aiheuttavat ongelmia viemäriverkostoissa. Syiksi ilmoitettiin puutteellinen rasvanerotuskaivojen tyhjennys, puuttuvat rasvanerotuskaivot ja elintarvikeyrityksien sekä kotitalouksien jäterasva. Rasva tulisi kerätä tehokkaasti talteen, jotta sitä ei pääsisi viemäriin. Yhdessä paikassa olevat isot rasvamäärät on helppo hyödyntää, esimerkiksi energian tuotannossa biodieselinä tai biokaasuna tai teknisinä tuotteina.

Tavoitteet

Hankkeen tavoitteena oli kehittää elintarvikeraaka-aineita tuottaville ja jatkojalostaville yrityksille yrityskohtaisia toimintamalleja sivujakeiden käsittelyyn sekä vähentää ravinteiden kulkeutumista vesistöihin. Hankkeen tavoitteena oli myös parantaa yritysten yhteistyötä ja verkostoitumista erilaisten yritystapaamisten ja työpajojen avulla.

Hankkeen välittöminä tavoitteina oli

- Tuottaa yrityksille keinoja sivujakeiden käsittelyyn sekä toteuttaa käytännön esimerkkejä elintarvikeprosessien puhtaiden sivujakeiden erilleen keräämisestä, käsittelystä ja hyötykäytöstä

- Tuottaa tietoa ravinteiden kierrätyksestä
- Tuottaa mittaustuloksia osoittamaan menetelmien toimivuus

Käsittelyn avulla yritykset voivat

- Parantaa sivujakeiden käsittelyä ja kustannustehokkuutta
- Käsitellä sivujakeet ympäristöä kuormittamatta
- Palauttaa sivujakeiden sisältämät ravinteet ravinnekiertoon nykyistä kestävämmiin ja tehokkaampiin

Tavoitteena oli myös erilaisten yritysten yhteistyön lisääminen ja parantaminen (tuottaja–hyödyntäjä-yhteistyö) sekä tiedonvälityksen lisääminen yritysten välillä.

Toimintamallien kehityksessä pyrkimyksenä oli, että

- Yrityksissä tunnistetaan nykyistä paremmin mahdollisuudet hyödyntää sivujakeet eri tavoin
- Sivujakeiden hallittu käsittely parantaa yritysten toimintaa, vähentää ravinnepäästöjä vesistöihin ja edistää ravinteiden kierrätystä kohdealueella
- Jätevedenpuhdistamojen kuormitus vähenee sivujakeiden erottelun ja hyödyntämisen avulla
- Ravinteiden käsittely- ja talteenottoprosesseja kehitetään ympäristönäkökohdat huomioon ottaen
- Tuotetut sivujakeet täyttävät niille asetetut laatuvaatimukset
- Syntyvät lopputuotteet on helppo kuljettaa ja varastoida
- Selvitetään sivujakeiden käsittelykustannukset sekä tuotteistamismahdollisuudet
- Kehitetyt ratkaisut ovat taloudellisesti kestävämpiä kuin nykytilanne ja sopivat eri kokoluokan yrityksille

3. Hankkeen osapuolet ja menetelmät

Hankkeen osapuolet

Hankkeen toteuttivat Luonnonvarakeskus ja Helsingin yliopiston maataloustieteiden osasto yhteistyössä yritysten kanssa.

Yritykset: Alitalon Vihannes Oy, Arctic Milk Oy, A-Rehu Oy, Aurinkotarhat Oy, He-Vi Hasila Oy, Pellon Group Oy, Vihannes-Vinnikainen Oy, 2 pienteurastamoa

Menetelmät

Sivujakeille testattiin erilaisia käsittelymenetelmiä: mm. separointia, mikro- ja ultrasuodatusta, kuivausta ja etanolin valmistusta. Eri sivufraktioista analysoitiin ravinteiden ja orgaanisen aineen lisäksi mm. rasvapitoisuutta sekä hemiselluloosa- ja ligniinipitoisuutta. Raaka-aineiden biokaasupotentiaalit selvitettiin kirjallisuudesta.

Hera

Pienjuustoloiden sivutuotteiden käsittelyä selvitettiin kyselytutkimuksella. Kysely tehtiin ensin pienelle joukolle Pienjuustolayhdistyksen tilaisuudessa ja sen jälkeen sähköpostikyselynä valtakunnallisesti ko. yhdistyksen jäsenille. Heran ympäristövaikutuksia selvitettiin kirjallisuudesta sekä yrityksestä otettujen näytteiden avulla.

Juustoa valmistavassa yrityksessä selvitettiin sivujakeiden muodostumista ottamalla näytteitä prosessin eri vaiheista ja ympäristönäytteistä. Lisäksi testattiin kryoskoopin toimivuutta jätevedessä olevan heran määrän mittaamisessa.

Prosessointikokeissa tutkittiin ricotta-juuston valmistusta herasta ja verrattiin erilaisia juuston valmistusmenetelmiä. Ricotan valmistuksesta jälkeen jäävää heraa, jossa laktoosi oli juustovalmistuksen yhteydessä hydrolysoitu glukoosiksi, fermentoitiin viinihiivan avulla etanoliksi. Etanolipitoisuus määritettiin ennen ja jälkeen fermentoinnin.

Kasvis

Tomaatin ja kurkun varsista ja lehdistä puristettiin neste erilleen ja tässä testattiin kahta puristinta. Kurkun varsista ja lehdistä puristettu nestejake separoitiin, ja tämän jälkeen nestejakeelle tehtiin ultra- ja mikro-suodatuskokeita. Puristenesteestä ja -jäännöksestä tehtiin ravinne- ja mikrobiologisia analyysejä ja määritettiin mm. hemiselluloosa ja ligniinipitoisuudet. Lisäksi selvitettiin jakeiden erilaisia hyödyntämismahdollisuuksia.

Salaatin valmistuksen sivujakeesta puristettiin erilleen neste. Nesteestä ja kuivajakeesta analysoitiin ravinteet sekä puristenesteelle lisäksi orgaanisen aineen pitoisuus.

Veri ja teurastamon jätevedet

Kirjallisuudesta selvitettiin tuotantoeläinten verimääriä sekä erilaisia mahdollisuuksia veren käsittelyyn ja hyödyntämiseen.

Veri- ja jätevesinäytteitä kerättiin kahdesta teurastamoyrityksestä. Näytteistä analysoitiin mm. orgaanisen aineen sekä rasva- ja ravinnepitoisuuksia.

Rasva

Pienjuustolan prosessivesistä ja herasta sekä teurastamoiden jätevesistä ja verestä määritettiin rasvapitoisuudet.

Mädätys ja pyrolyysi

Kirjallisuudesta selvitettiin eri raaka-aineiden biokaasupotentiaaleja ja hyödyntämistä biokaasun tuotannossa sekä tomaatin varsien pyrolysointia

4. Hankkeen tulokset

4.1 Eri sivujakeiden tulokset

Hera

Pienjuustoloissa muodostuvan heran määrää ja käyttöä selvitettiin kyselytutkimuksella. Kysely lähetettiin pienjuustoloille. Vastauksia saatiin 13 juustolalta. Heraa meni jäteveden joukkoon, rehuksi ja kompostoitavaksi. Usealla vastaajalla oli kiinnostusta heran jatkojalostukseen.

Juustolassa otettiin juuston valmistusprosessin eri vaiheissa näytteitä kemiallisiin analyysihin juustoista, herasta ja lattiakaivojen jätevesistä. Juustolassa ei ollut jätevedelle kokoomakaivoa, joten tulokset kuvaavat näytteenottokohteessa lattiakaivoon valuvaa nestettä. Herasta valmistettiin juustoa Luken FoodPilot-koehallissa Jokioisilla. Koetta jatkettiin kokeilemalla etanolin valmistusta heran valmistuksessa jäljelle jääneestä nesteestä. Herakokeiden tulokset ovat liitteessä 1.

Kasvis

Kurkun ja tomaatin lehti- ja varsimassa

Kahdella eri puristimella tehtyjen puristejäännösten kuiva-ainepitoisuudet vaihtelivat välillä 12–23 %. Jos kasvisjakeet silputaan ennen puristusta pieneksi silpuksi, puristimen nesteenerotustehoa voidaan parantaa.

Kurkun ja tomaatin puristenesteiden ja -jäännöksen analyysituloksista voitiin päätellä mm., että tomaatin puristeneste oli happamampaa kuin kurkun: tomaattinesteen pH oli noin 5 ja kurkkunesteen noin 7. Typpi jäi pääosin puristejäännökseen, fosfori ja kalium jakaantuivat puristenesteeseen ja -jäännökseen. Puristenesteen separoinnissa osa ravinteista jäi separoinnissa erottuvaan kiintoaineeseen.

Nesteen mikro- ja ultrasuodatuksessa neste meni suodattimen läpi, mutta vähitellen suodattimet tukkeutuivat. Ravinteet jakautuivat retentaattiin ja permeaattiin. Mikrosuodatuksella saatiin nesteen kokonaismikrobimäärä laskemaan $1,4 \cdot 10^7$ pmy:stä 80 pmy:öön. Hiivoja oli separoidussa nesteessä $3,5 \cdot 10^4$ pmy ja mikrosuodatuksen jälkeen alle 10 pmy. Homeita oli vastaavasti separoidussa nesteessä $4,0 \cdot 10^4$ pmy ja mikrosuodatuksen jälkeen alle 10 pmy.

Hemiselluloosapitoisuudet olivat korkeita tomaatin ja kurkun lehdissä sekä tomaatin varsissa, selluloosapitoisuudet tomaatin varsissa. Hemiselluloosaa ei määritetty kurkunvarsinäytteistä. Pitoisuuksia verrattiin ruohon, oljen, ruokohelven ja puun hemiselluloosa- ja selluloosapitoisuuksiin (liite 2).

Hemiselluloosa on kiinnostava raaka-aine mm. sen joustavuuden vuoksi. Sivuvirroista saatavaa hemiselluloosaa voitaisiin käyttää muun muassa pakkaus- ja elintarviketeollisuudessa ja jalostaa esimerkiksi sellutehtaiden yhteydessä toimivissa biojalostamoissa.

Salaatinvalmistuksen sivujae

Salaatinvalmistuksen sivujakeesta saatiin puristamalla erilleen 80 massa-%. Puristenesteen hapenkulutus oli korkea (BOD₇ 20 g/l ja COD 32 g/l). Typeä oli nesteessä 680 mg/l ja fosforia 150 mg/l. Nesteen voisi hyödyntää erillään esimerkiksi lannoitevalmisteenä.

Puristusjäännös on helpompi kompostoida kuin käsittelemätön salaattisivujae: jäännös kompostoituu helpommin ja tarvitaan vähemmän seosainetta.

Kasvisten tuloksista on kerrottu tarkemmin liitteessä 2.

Veri ja teurastamon jätevedet

Teurastamoissa muodostuvan veren määrää ja hyödyntämistä selvitettiin kirjallisuuden avulla. Suomessa tuotantoeläinten verta muodostuu noin 30 000 tonnia vuodessa. 40–60 % verestä saadaan valuttamalla erilleen ruhosta.

Teuraseläinten veri hyödynnetään Suomessa pääosin turkiseläinten rehuna, mutta sitä voidaan hyödyntää myös muulla tavoin, esimerkiksi maanparannusaineena tai biokaasun valmistuksessa. Veri on hyvä proteiinien lähde, ja sitä voitaisiin käyttää nykyistä enemmän elintarvikkeissa, rehuissa ja muissa tuotteissa, joissa proteiini on tärkeä tekijä. Veren käsittely lisää verituotteiden arvoa.

Veri kerätään teurastamossa erilleen mahdollisimman tarkkaan, eikä sitä päästetä jätevesien sekaan. Veren kemiallisen hapenkulutuksen (COD) pitoisuudet olivat hanhen veressä 246 g/l ja naudan veressä 220 g/l. Hanhiteurastamolta eri säiliöistä otettujen jätevesinäytteiden COD-pitoisuudet vaihtelivat välillä 581–3515 mg/l, ja rasvasäiliöstä otetun näytteen COD oli 31 g/l. Pienteurastamon (nauta, sika, lammas) jätevesianalyseissä COD-pitoisuudet vaihtelivat välillä 770–8 800 mg/l.

Verestä ja teurastamon jätevesistä on kerrottu liitteessä 3.

Rasva

Rasvaa irtoaa teurastamoissa ja lihanjalostusteollisuudessa lihan käsittelyssä. Viemäriin menevän rasvan määrä on erittäin riippuvainen lämpötilasta ja käytetyistä pesuaineista. Rasvanerotuskaivoilla on olennainen merkitys rasvapäästöjen vähentämisessä yrityksissä, joissa käsitellään rasvaa sisältäviä materiaaleja, kuten maidon ja lihan käsittelyssä ja prosessoinnissa. Jäteveden sisältämä rasva tarttuu helposti putkistojen seinämiin vaikeasti puhdistettavaksi kerrostumaksi. Rasvakaivojen rasva on hyvin vesipitoista; rasvapitoisuus voi olla vain 20 % nestetilavuudesta, mikä vaikeuttaa rasvakaivorasvan hyödyntämistä.

Sivukierto-hankkeessa mitattujen juustoloiden jätevesinäytteiden rasvapitoisuudet vaihtelivat välillä 1,5–6,5 g/kg ja pienteurastamojätevesien (nauta, sika, lammas) välillä 12–20 mg/l. Hanhiteurastamon jätevesien rasvapitoisuudet olivat välillä 2–3 g/l ja rasvakaivonäytteessä 66 g/l.

Lisätietoa rasvanäytteiden tuloksista on liitteessä 4.

4.2 Hankkeen tavoitteiden ja suunniteltujen tulosten toteutuminen ja mittarit

Taulukkoon 1 on koottu hankkeen suunnitellut tavoitteet sekä niiden toteutuminen. Kahden pienteurastamon teurasveren ja jätevesien laatua selvitettiin näytteenotoin. Pienteurastamoiden ja juustolan jätevesistä määritettiin myös jätevesiin menevän rasvan määrä.

Taulukko 1. Hankkeessa suunnitellut ja toteutuneet (X) tavoitteet.

Tavoitteet	Hera	Pienteurastamon jätevedet	Kasvissivujae
1. Kartoitus yrityksissä: sivujakeiden ja prosessien kuvaus	X	X	X
2. Erilleen kerättyjen sivujakeiden määrän ja laadun arviointi	X	X	X
3. Esikäsittely	X	X	X
4. Nestejakeen käsittely	X	X	X
5. Kiintojakeen käsittely ja lopputuotteen hyödyntäminen	X	X	X
6. Nestejakeen hyödyntäminen	X	X	X
7. Kohtien 3–6 pilotointi	X	-	X
8. Toimenpiteiden vertailu, ravinteiden kierrätys	X	X	X

Sivukierto-hankkeen tavoitteena oli tuottaa prosessiratkaisuja (3–5 kpl). Hankkeessa tuotettuja ratkaisuja olivat:

Heran käsittely ja tuotteistaminen

- Ricotta-juuston valmistus tuorejuustoherasta
- Etanolin tuotanto ricotta-juuston valmistuksen jälkeen jäävästä herasta

Kasvissivutuotteen käsittely, laatu ja hyödyntäminen

- Kasvisnesteen ja kiintoaineen erotus, käsittely ja hyödyntämisvaihtoehtoja
- Jakeiden ominaisuuksien selvitys

Tuotantoeläinten veri ja teurastamon jätevesi

- Tuotantoeläinten veren määrän ja hyödyntämisvaihtoehtojen selvitys
- Verijauhon tuotanto
- Teurastamon jäteveden laatu ja käsittely

Rasva

- Jätevesien rasvapitoisuus
- Rasvan erotus ja käsittely jätevesistä

Yritysten yhteistyö

Hankkeen tavoitteena oli myös parantaa yritysten yhteistyötä sekä lisätä yritysten ja muiden sidosryhmien tietoisuutta erilaisista sivujakeista ja niiden hyödyntämismahdollisuuksista. Tätä toteutettiin mm. työpajojen, kirjoitusten ja esitelmien avulla.

Koronaepidemia vaikeutti vuonna 2020 hanketyötä, eikä kaikkea suunniteltua voitu toteuttaa yrityksissä. Muun muassa suunniteltuja yritysvierailuja jouduttiin perumaan.

5. Hankkeen vaikuttavuus ravinteiden kiertoon ja vesistökuormitukseen

Yleisesti ottaen elintarviketalouden sivutuotteiden hyödyntämisen vaikutukset ovat sekä yrityksen talouden että ympäristön kannalta positiivisia. Jätteenä menevien ja jätteiden käsittelyä vaativien jakeiden määrä vähenee, ja tuotteista saadaan yritykselle lisäarvoa.

Ravinnepitoisten jakeiden kerääminen, erottelu ja hyödyntäminen erillään lisäävät jonkin verran käsittelyä, mutta sivujakeet ovat käsittelyn jälkeen helpommin hyödynnettäviä, ja ravinteet saadaan tehokkaammin kiertoon ja pois kuormittamasta jätevesiä ja vesistöjä.

Hera

Pieniä maidonjalostusyrityksiä on Suomessa noin 60 ja pienjuustoloita noin 50 (kartta: <https://www.pienjuustolat.fi/jaesenyritykset>). Pienjuustolaksi luetaan alle miljoona litraa maitoa jalostavat juustolat. Pienjuustoloiden heraa kuljetetaan usein sellaisenaan rehuksi tai johdetaan jäteveteen. Rehukäyttö tapahtuu yleensä juustolan lähialueella, koska heran kuljetuskustannukset voivat nousta korkeiksi, mikä tekee hyödyntämisestä kannattamatonta.

Sivukierto-hankkeessa selvitettiin heran käyttöä ricotta-juuston ja etanolin valmistuksessa. Riippuen etanolin laadusta, heraa voitaisiin käyttää alkoholijuomien valmistuksessa. Herää käytetään jo biokaasun tuotannossa Ahvenanmaalla Ålandsmejerietissä. Heran kemiallinen hapenkulutus (COD_{cr}) oli Sivukierto-hankkeessa tehdyssä näytteenotossa 63 g/l. Tulos on lähes sama kuin Valion Joensuun meijerissä tehdyssä tutkimuksessa, jossa heran kemiallinen hapenkulutus oli 60 g/l (Eskola 2013).

Jos 100 000 litran heramäärä johdettaisiin juustolasta vuosittain jäteveden joukkoon, sen kemiallinen hapenkulutus olisi 6,3 t, fosforin määrä 44 kg ja kaliumin määrä 290 kg. Orgaaninen aine ja ravinteet kuormittavat puhdistamoja ja osa näistä päätyy edelleen vesistöihin.

Heran tuotteistuskokeista kerrotaan lisää liitteessä 1.

Kasvis

Kurkun ja tomaatin varsia ja lehtiä muodostuu Suomessa vuodessa 18 000 t (kurkku) ja 14 000 t (tomaatti) (Niemi 2019). Suurin osa tästä massasta kompostoidaan, ja lopputuotteesta seulotaan pois narut ja kiinnitysklipsit. Kompostoinnissa joudutaan käyttämään runsaasti kuiviketta, ja kompostoinnin aikana kompostimassasta erottuu runsaasti suotonestettä, joka johdetaan jätevedenkäsittelyyn tai pellolle.

Yhteensä Suomen kurkun ja tomaatin tuotannon vuotuinen biomassa sisältää fosforia 25 t, typpeä 84 t ja kaliumia 182 t. Biomassan ravinteet tulisi saada ravinnekiertoon: käyttää ne kasviskompostina tai lannoiteliuksina tai hyödyntää muissa tuotteissa. Kun kasvissivujakeista puristetaan nestettä pois, jakeet voidaan käsitellä ja hyödyntää erillään.

Veri ja teurastamon jätevedet

Pienteurastamoja on Suomessa noin 50, joista sikoja, nautoja ja/tai lampaita teurastaa noin 45. Siipikarjateurastamoja on vastaavasti viisi. Yli 5000 eläinyksikköä vuodessa teurastavia suuria teurastamoja on Suomessa 15, ja viidessä näistä teurastetaan siipikarjaa enemmän kuin 300 000 lintua vuodessa. Poronhoitoalueella toimii lisäksi 19 poroteurastamoa. Verta muodostuu teurastamoissa keskimäärin noin 20 000–30 000 tonnia vuosittain. Verta pitää pystyä hyödyntämään entistä paremmin, jotta ympäristökuormitusta saadaan vähäisemmäksi.

Eläinperäiset sivujakeet täytyy käsitellä sivutuoteasetuksen vaatimusten mukaisesti. Veri tulisi hyödyntää ensisijaisesti elintarvikkeena, ja tulevaisuudessa verta voidaan hyödyntää nykyistä vapaammin erilaisissa rehuissa.

Hankkeessa selvitettiin laajasti veren hyödyntämistä ja siihen liittyviä rajoituksia (liite 3).

Rasva

Hankkeessa kerättiin tietoa jätevesien rasvapitoisuudesta. Tieto auttaa yritystä tehostamaan prosessejaan ja vähentämään ympäristökuormitustaan.

Yritysten yhteistyön parantaminen

Yritysten, asiantuntijoiden ja muiden toimijoiden saattaminen yhteen erilaisissa tilaisuuksissa parantaa yhteistyömahdollisuuksia, lisää asioiden yhteistä ymmärtämistä sekä synnyttää uusia ideoita ja liiketoimintamahdollisuuksia.

6. Viestinnän toteutuminen ja tulokset

Sivukierto-hankkeen pääasiallinen viestintä toteutettiin lehtikirjoitusten ja erilaisten seminaarien muodossa sekä verkkosivun (<https://sivukierto.wixsite.com/sivukierto>) kautta. Hankkeessa pidettiin yksi työpaja. Hankkeen aikana vierailtiin monissa yrityksissä.

Viestinnän kohderyhmänä ovat elintarvikeraaka-aineita käsittelevät ja jalostavat yritykset, sivujakeiden hyödyntäjät (yritykset, maatilat ym.), laitevalmistajat sekä viranomaiset.

Hanketta esiteltiin Aitoja makuja -verkkolehden numerossa 1/2019 ja Kärkihankekiertueella Seinäjoella 10.12.2018, jossa oli mukana myös muita hanketoimijoita sekä yrityksiä. Sivukierto-hankkeesta oli esillä posterit. Lisäksi

- Hanketta esiteltiin Pienmeijeripäivillä 15.8.2019.
- Hankkeen työpaja järjestettiin 7.11.2019 Ilmajoella Altian Koskenkorvan tehtaalla. A-rehun ja Altian prosesseja esiteltiin tutustumiskierroksella. Lapuan peruna Oy esitteli omia prosessejaan ja käsittelymenetelmiään.
- Maataloustieteen päiville 8.–9.1.2020 tehtiin abstrakti sekä esiteltiin posterit (liite 7).
- Raki-hankkeiden tuloswebinaarissa 2.11.2020 kerrottiin Sivukierto-hankkeesta ja sen tuloksista.
- Elintarvike ja terveys -lehdessä julkaistiin joulukuussa 2020 artikkeli ”Tuotantoeläinten veri ja sen hyödyntäminen”.
- Keväällä 2021 kirjoitetaan vielä lehtiartikkelit herasta ja kasviksista.
- Loppuseminaria suunnitellaan yhteistyössä Uusivu – Uutta liiketoimintaa sivutuotteista -hankkeen kanssa alkuvuodesta 2021.

Viestintätoimenpiteet 1.10.2018–31.12.2020 on esitetty tarkemmin liitteessä 5.

Yritysten edustajien tapaamiset paikan päällä ovat tärkeitä yritysyrityksen kannalta. Kaikkia hankkeessa suunniteltuja yrityskäyntejä ja työpajoja ei voitu toteuttaa koronapandemian takia. Esimerkiksi suunniteltu tutustumiskäynti Ahvenanmaalla ja tähän liittyvä yhteistyö Invenire market intelligence LTD:n kanssa peruuntui pandemian takia.

7. Tulosten kestävyys ja hyödyntäminen

7.1 Arvio tulosten kestävydestä, konkreettisuudesta ja riskeistä

Heran, ja varsinkin veren, saamisella tehokkaammin elintarvikekäyttöön olisi suuri vaikutus maailman proteiinitarpeen tyydyttämisessä. Veri tulisi prosessoida tehokkaammin esimerkiksi verijauhoksi ja hyödyntää proteiinilähteenä.

Eläinperäisten sivutuotteiden käsittelyssä ja hyödyntämisessä on noudatettava sivutuoteasetusta. Sivujakeiden rehukäyttöä säätelee rehu- ja maanparannuskäyttöä lannoitevalmistelainsäädäntö. Sivukierto-hankkeessa selviteltyihin sivujakeisiin liittyy myös erityispiirteitä, joilla on vaikutusta niiden hyödynnettävyyteen. Ruokavirastosta on pyydetty lausuntoja tomaatin ja kurkun sivuvirtojen hyödyntämisestä, teurastamoveren käsittelystä ja hyödyntämisestä sekä verijauhon rehukäytöstä.

Heran jatkojalostus pienessä mittakaavassa

Hera kuuluu sivutuoteasetuksen (EY N:o 1069/2009) piiriin ollen 3. luokan sivutuote. Jos heraa luovutetaan rehukäyttöön, juustolan on rekisteröidyttävä rehualan toimijaksi (Rehulaki 86/2008).

Tomaatin ja kurkun sivujakeiden hyödyntämistä lannoitevalmisteenä (Titta Berlin, MMM ja Merja Torniainen, Ruokavirasto)

Tomaatin ja kurkun puristenesteen käsittelyyn ja käyttöön liittyviin kasvitautilisriskiin liittyen lannoite- tai kasvinterveyslainsäädännössä ei ole kasviperäisten materiaalien käsittelyn osalta annettu selkeitä käsittelyvaatimuksia, eikä käytön rajoitteissa ole erikseen mainittu kasviperäisissä materiaaleissa tomaattia ja/tai kurkkua tai niiden kasvullisia osia. Ruokavirastossa on päädytty ratkaisuun, että puristenesteitä voidaan toimijan omalla vastuulla saattaa markkinoille ilman lainsäädäntöön perustuvia käytön rajoitteita. Kasvinterveysviranomaisten mukaan tomaatin ja/tai kurkun sekä niiden kasvullisten osien puristenesteeseen sisältyy kuitenkin riski kasvitautilien leviämisestä. Näin ollen toimijan on omavalvonnassaan huomioitava ja tunnistettava valmistettavaan lannoitevalmisteen liittyvät kasvitautilisriskit. Toimijan on tarvittaessa ilmoitettava ko. riskeistä tuoteselosteessa.

Puristenesteen valmistaminen edellyttää toimijalta rekisteröitymistä Ruokavirastoon lannoitetoimijaksi sekä laitoshyväksyntää. Laitoshyväksynnän yhteydessä tulee kuvata puristenesteen valmistusmenetelmä. Toimintaa koskevassa omavalvontasuunnitelmassa kuvataan puristenesteen valmistamiseen liittyvien riskien tunnistaminen ja lopputuotteen laadun varmistaminen. Toiminnassa tulee ottaa huomioon, että lannoitevalmisteiden valmistajalla on lannoitevalmistelain perusteella lähtökohtaisesti vahingonkorvausvelvollisuus (ammattikäyttöön), jos lannoitevalmisteen ammattimaisesta käytöstä aiheutuu tuotteen ostajalle vahinkoa. Korvaus on suoritettava, vaikka vahinkoa ei ole aiheutettu tahallisesti tai huolimattomuudesta.

Verijauhon rehukäytöstä (Hanna Laatio, Ruokavirasto)

Verijauhon rehukäytölle on rajoituksia. Käyttömahdollisuuksia rajaavat sivutuoteluokka ja eläinlaji, jonka verestä verijauho on valmistettu. Nykylainsäädännön mukaan märehtijöistä saatua luokan 3 verijauhoa voi käyttää vain lemmikki- ja turkiseläinten ruokinnassa. Sian ja siipikarjan verestä saatua luokan 3 verijauhoa voi edellisten lisäksi käyttää kalanrehun raaka-aineena. Sivutuotteiden rehukäyttöön liittyvää EU-lainsäädäntöä ollaan kuitenkin muuttamassa niin, että jatkossa luokan 3 sikasivutuotteista saatua käsiteltyä eläinvalkuaista (ml. verijauho) voitaisiin käyttää siipikarjanrehun raaka-aineena ja vastaavasti luokan 3 siipikarjasivutuotteista saatua käsiteltyä eläinvalkuaista sianrehun valmistuksessa. Käytölle on kuitenkin tulossa tiukkoja ehtoja.

Jos veri luokitellaan teurastamossa lihantarkastuslöydöksistä johtuen luokan 2 sivutuotteeksi, sitä ei voi käyttää elintarviketuotantoeläinten tai lemmikkieläinten ruokinnassa. Turkiseläinten ruokinnassa luokan 2 verta ja verijauhoa voi käyttää.

Veren käsittelystä (Olli Venelampi, Ruokavirasto)

Veri pitää aina käsitellä sivutuoteasetuksen vaatimusten mukaisesti. Luokan 3 verta voi käyttää sivutuoteasetuksen mukaisesti hyväksytyn kompostointilaitoksen tai biokaasulaitoksen syötteenä. Tällöin kompostointi- tai biokaasulaitoksella pitää olla 60 min lämpökäsittely 70 °C:ssa. Verta ei saa käsitellä esimerkiksi lannan käsittelyyn hyväksytyssä laitoksessa.

Lisäksi verestä voi valmistaa orgaanisena lannoitteena käytettävää verijauhoa. Tällöin käsittelyvaatimus riippuu siitä, minkä eläimen verestä on kyse. Nautojen veri pitää käsitellä painesteriloimalla. Sian verestä verijauho voidaan valmistaa myös muilla sivutuoteasetuksen sallimilla käsittelymenetelmillä. Nämä ovat

Komission asetuksen (EU) N:o 142/2011 liitteen IV luvussa III esitetyt käsittelymenetelmät 2–5 tai käsittelymenetelmä 7 edellyttäen, että käsittelymenetelmän 7 yhteydessä on tehty lämpökäsittely kuumentamalla veri läpikotaisin vähintään 80 asteeseen.

Kalkkistabilointi ei ole veren käsittelyssä sallittu menetelmä. Veren hävittäminen jätevesivirrassa ei myöskään ole sallittua. Pesujen mukana jäteveteen päätyvä veri voidaan käsitellä kuten muutkin jätevedet.

7.2 Ehdotukset hankkeen tulosten hyödyntämiseksi

Sivukierro-hankkeessa on tuotettu tietoa erilaisten sivuvirtamateriaalien määrästä, laadusta, koostumuksesta ja käsittelystä sekä ympäristövaikutuksista. Tietoja voidaan hyödyntää yrityksissä sivujakeiden hyötykäyttöä suunniteltaessa.

Pienille yrityksille heran hyödyntäminen on usein liian kallista. Heran hyödyntämisessä on kuitenkin useita vaihtoehtoja: sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi erilaisissa elintarviketuotteissa, rehuna tai etanolin ja maitohapon valmistuksessa. Heran hyödyntäminen vähentää yrityksen päästöjä ympäristöön.

Kasvissivujakeet sisältävät paljon erilaisia komponentteja. Maanparannusaine- ja lannoitevalmistekäytön lisäksi kurkun ja tomaatin lehti-varsibiomassoja voidaan hyödyntää esimerkiksi pakkausmateriaalien valmistuksessa.

Veri voitaisiin hyödyntää elintarvikkeena nykyistä tehokkaammin ja jalostettuina tuotteina esimerkiksi lääketeollisuuden tarpeisiin. Verijauhon hyödyntämistä rehuna voidaan tehostaa, kunhan työn alla olevat muutokset rehulainsäädäntöön saadaan tehtyä.

Rasvaa muodostuu elintarviketalouden eri aloilta merkittäviä määriä. Rasvalle on kysyntää ja sitä hyödynnetään eri tarkoituksiin, mm. elintarvike-, rehu- ja kosmetiikkateollisuudessa, teknisissä tuotteissa sekä energiasektorilla. Rasva vaatii kuitenkin prosessointia, ennen kun sitä voidaan hyödyntää. Rasvalle pitäisi luoda kustannustehokas keräily- ja esikäsittelymalli, jotta se saataisiin tehokkaasti hyödynnettäväksi eri tarkoituksiin.

8. Talousraportti

Ympäristöministeriön myöntämä rahoitus hankkeelle oli 175 000 € ja kokonaisrahoitus 293 560 €. Lisäksi yritysten hankkeelle antaman panostuksen arvo oli 34 000 €.

Alkuperäiseen budjettisuunnitelmaan jouduttiin tekemään jonkin verran muutoksia. Näytteet analysoitiin pääosin Luken laboratoriossa, jolloin analyysikustannukset siirtyivät ostopalveluista palkkoihin. Matkoja ja yrityskäyntejä ei voitu toteuttaa suunnitellusti koronarajoitusten vuoksi, joten matkakustannuksia siirrettiin hankkeen muihin kustannuksiin.

Talousraportti on liitteenä.

9. Suositukset tulevia hankkeita ja ohjelmia varten

Sivujakeiden hyödyntämisen täytyy olla jokaiselle, mutta erityisesti pienelle yritykselle, taloudellisesti kannattavaa toimintaa. Erilaisten sivutuottejakeiden hyötykäytön kustannuksia ja kannattavuutta pitäisi selvittää tarkemmin. Laskelmat sivujakeiden hyödyntämisen kannattavuudesta kannustavat yrityksiä sivujakeiden tehokkaampaan hyödyntämiseen. Myös erilaisia tuotteistusvaihtoehtoja tarvitaan, ja tässä pitäisi tehdä yhteistyötä eri yritysten kesken niin ideoinnissa, tuotteistuksessa kuin markkinoinnissa.

Yritysten positiivista suhtautumista kiertotalouteen ja sivutuotteiden hyödyntämiseen tulisi vahvistaa. Erilaiset toimivat esimerkit ja onnistumiset voisivat aktivoida yrityksiä panostamaan erilaisiin kiertotalousratkaisuihin ja lähtemään mukaan yhteistyöhön muiden yritysten kanssa. Kokonaisvaltainen suhtautuminen vastuullisuuteen ja esimerkiksi hiilijalanjäljen laskenta erilaisille tuotteille ja toiminnoille tekee asiaa konkreettisemmaksi.

Yritysyhteistyössä jo olemassa olevien prosessien hyödyntäminen voisi tuoda hyötyä eri osapuolille. Erikoistuotteiden valmistus, esimerkiksi etanolin tai maitohapon valmistus herasta, voisi kiinnostaa yrityksiä lähtemään yhteistyöhön. Vaihtoehtoiset hyödyntämiskeinot, esimerkiksi kasvissivujakeiden pyrolysointi, voisi tuottaa kiinnostavia lopputuotteita

Tulevissa hankkeissa kannattaa pitää teemaseminaareja myös muiden kuin eri Raki-hankkeiden toimijoiden välillä. Yrityksiä ja hyödyntäjiä pitäisi saada mukaan seminaareihin ja tapahtumiin, jolloin kiinnostusta kiertotaloutta ja ravinteiden kierrätystä kohtaan saataisiin vahvistettua. Yritykset toimivat vastuullisesti, mutta ravinteiden kierrättämisen ei pitäisi olla pelkästään kuluerä, vaan myös mahdollisesti taloudellisesti ja ympäristön kannalta kannattavaa toimintaa.

10. Johtopäätökset

Kaikki ravinteet tulisi saada kiertoon ja sivujakeet tehokkaasti hyötykäyttöön. Yritysten pienistäkin kiertoon saaduista ravinteista kertyy suurempi kokonaisuus, jolla on iso merkitys vesistöjen ja ympäristön tilan ja ravinteiden kierron kannalta.

Kymmenestä maitokilosta syntyy noin kilon verran (kovaa) juustoa. Loput yhdeksän kiloa on heraa, jolle pitäisi löytää hyödyllistä käyttöä. Tällä hetkellä hera päättyy juustoloista jäteveeteen, levitetään pellolle, käytetään rehuna tai viedään biokaasulaitokselle. Hera voidaan hyödyntää myös elintarvikkeena:

- Ricotan tuotanto sopii hyvin pienjuustoloille
- Herasta voidaan valmistaa myös etanolia
- Yhteistyötä eri alojen yritysten kanssa voidaan lisätä

Kavissivutuotteita muodostuu suuria määriä mm. kasvihuonetuotannossa ja kasvisten prosessoinnissa. Kavissivutuotteiden kuiva-ainepitoisuus on alhainen, mikä vaikeuttaa jakeiden hyödyntämistä. Yleisin keino hyödyntää kasvissivutuotteita on kompostointi. Kompostoinnissa tarvitaan runsaasti seosainetta, ja suotovesiä erottuu runsaasti. Kasvismateriaali, esimerkiksi tomaatin ja kurkun tuotannon biomassa, sisältää runsaasti erilaisia komponentteja, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi lannoitevalmisteenä, etanolin tuotannossa sekä pakkaus- ja muiden kuitumateriaalien tuotannossa.

Tuotantoeläinten verta muodostuu paljon ja sen proteiinipitoisuus on korkea. Verestä hyödynnetään elintarvikkeena tällä hetkellä 5–10 %. Veren elintarvikekäyttöä tulisi nostaa ja mahdollisuuksia tähän on olemassa. Verta hyödynnetään rehuna, mutta sen käyttöä on rajoitettu lainsäädännöllä. Verijauhoa ei tällä hetkellä valmisteta Suomessa.

Elintarviketaloudesta tuleva rasva tulisi kerätä talteen ja hyödyntää esim. biodieselin valmistuksessa. Rasvaa päätyy suuria määriä jäteveden sekaan, jossa se tukkii putkistoja ja kuormittaa puhdistamoja. Rasvakaivojen rasva on vesipitoista. Sekä teurastamo- että juustonvalmistusprosesseissa jätevesiin päätyy rasvaa. Pitoisuudet riippuvat raaka-aineiden ja käsittelyprosesseista.

Yritysten yhteistyö on tärkeää sivujakeiden hyödyntämisessä. Yhdessä yrityksessä syntyvä sivujae voi olla toiselle yritykselle raaka-aine.

Sivutuotteiden järkevä ja tarkoituksenmukainen käyttö on tärkeää. Sivutuotteiden muodostumista tulisi vähentää, jos mahdollista. Tämän jälkeen sivutuotteet tulisi hyödyntää elintarvikkeena tai esimerkiksi lääkeaineissa ja kosmetiikassa. Sivutuotteiden rehukäytöllä voidaan korvata muun rehun tarvetta.

Lainsäädännöllä pyritään sivujakeiden kestävään ja vastuulliseen hyödyntämiseen, mutta se voi myös asettaa esteitä hyödyntämiselle. Muutokset eri toimialoilla voivat tuoda myös muutoksia sivujakeiden hyödyntämiseen. Erilaiset vaihtoehtoiset ratkaisut tuovat joustavuutta ja lisäävät yritysten toimintaedellytyksiä.

Liite 1. Hera

Johdanto

Hera ja meijerin huuhtovedet

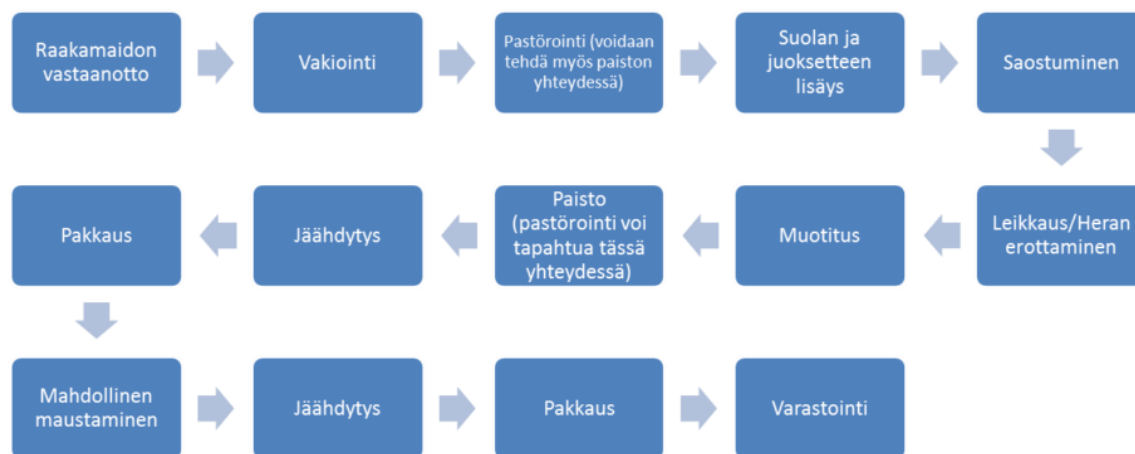
Maidon prosessoinnissa syntyviä ravinnepitoisia sivuvirtoja ovat prosessin huuhtovedet, ns. vesi-maidot, joita syntyy tuotevaihtojen yhteydessä sekä tuotannon aloituksessa ja lopetuksessa. Nämä voivat olla oikein käsiteltyinä elintarvikkeiden raaka-aineita. Meijeriteollisuuden sivuvirtojen sisältämät orgaaniset ja epäorgaaniset komponentit voidaan ottaa talteen joko elintarvikkeiden raaka-aineiksi tai ravinnekiertoon. Juustoloiden sivuvirroista voidaan tuottaa myös bioenergiaa. Ålandsmejeriet käyttää juuston valmistuksessa syntyvät nesteet hyväksi meijerin omassa biokaasulaitoksessa, jossa meijerijätteestä tuotetaan energiaa sekä meijerin että osuuskunnan leipomon tarpeisiin. Herasta on Tanskassa valmistettu myös etanolia.

Hera

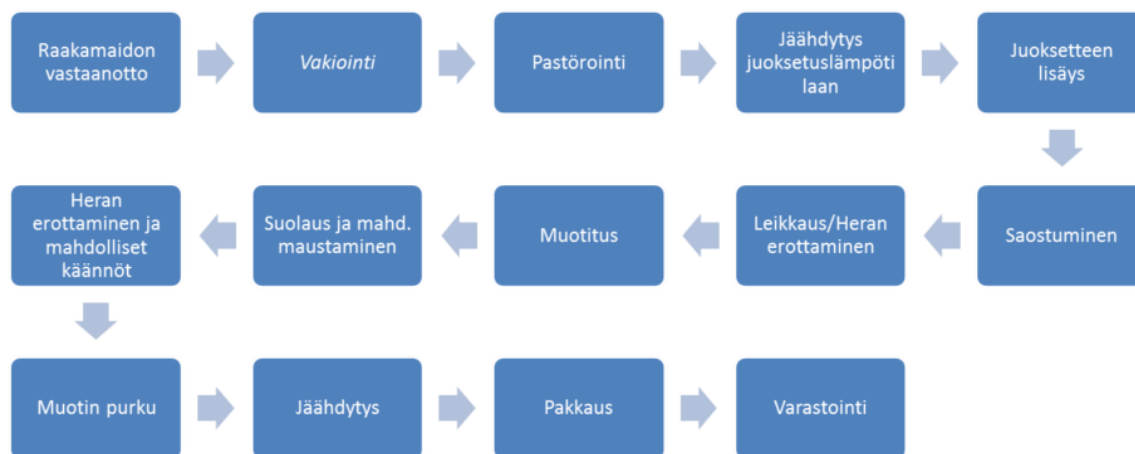
Hera on juuston valmistuksen ja kaseiinin tuotannon yhteydessä saatava sivutuote. Jokaista juustokiloa kohden syntyy noin 8–9 litraa heraa. Hera sisältää suunnilleen 50 % maidon alkuperäisistä ravinteista, joita ovat liukoiset proteiinit, laktoosi, vitamiinit ja mineraalit (Bylund 2003). Heran koostumus on noin 94 % vettä ja 6 % kuiva-ainetta. Kuiva-aineesta noin 4,5 % on laktoosia, 0,8 % proteiineja ja 0,7 % mineraaleja. Kymmenestä maitokilosta syntyy noin kilon verran (kovaa) juustoa. Loput yhdeksän kiloa on heraa, jolle pitäisi löytää hyödyllistä käyttöä. Suomessa heraa tuotettiin juuston tuotantomäärästä arvioiden 800 000–900 000 miljoonaa litraa vuonna 2014 (VAHTI 2014, Tietohaarukka 2015).

Juuston valmistuksessa syntyvä hera on elintarvikkeiden valmistukseen sopivaa sivuvirtaa, ja suuremmat meijeriyhtyritykset hyödyntävätkin heran ja sen eri fraktiot tuotteissaan. Suomessa suurimmat meijerit hyödyntävät kaiken heran elintarvikkeena ja rehuna (Valio 2019). Pienemmille toimijoille heran käsittely tuotteiksi on kuitenkin liian kallista, ja sitä luovutetaan eläinten rehuksi, levitetään pellolle sellaisenaan tai johdetaan jätevedenpuhdistamolle. Meijerin jätevesien COD-pitoisuudet voivat vaihdella välillä 0,18–10 g/l. Herassa kemiallisen hapenkulutuksen pitoisuus, COD, on korkea, 50–102 g/l (Carvalho ym. 2013).

Tuorejuuston valmistusprosessi on esitetty kuvassa 1.1 ja juoksetejuuston kuvassa 1.2.



Kuva 1.1. Tuorejuuston valmistusprosessi (HAMI N. d.)



Kuva 1.2. Juoksetejuuston valmistusprosessi (HAMI N.d.)

Euroopan heratuoteyhdistyksen (European Whey Products Association, EWPA) mukaan ainoastaan 40 % EU:ssa syntyvästä herasta prosessoidaan elintarvike- tai rehukäyttöön (Välimaa ym. 2017). Ennen membraanisuodatustekniikoiden kehittymistä 1970-luvulla heraa pidettiin arvottomana jätteenä, joka päästettiin suoraan vesistöihin, levitettiin pelloille tai vietiin sioille ruuaksi. Heran korkea biokemiallinen hapenkulutus (BOD) aiheutti silloin ympäristöongelmia. Nykyään, varsinkin isoissa yrityksissä, heran arvokkaita komponentteja käytetään funktionaalisten tai terveysvaikutteisten elintarvikkeiden valmistuksessa. Pääosa heran käsittelystä tähtää heraproteiinien talteenottoon (Gésan-Guiziou 2013).

Heran koostumus riippuu mm. valmistettavan juuston tyypistä, maidon lämpökäsittelystä sekä kaseiinin poistoon käytetyistä keinoista. Heraa on pääasiassa kahta erilaista: ns. makeaa heraa (sweet whey) ja hapanta heraa (acid whey). Pääosa kaikesta tuotetusta herasta on makeaa heraa, jota saadaan silloin kun kaseiinin saostaminen tapahtuu juoksetteen avulla. Makean heran pH on lähellä alkuperäisen maidon pH:ta, eli noin 6,0–6,6. Hapan hera syntyy maitohappokäymisen avulla valmistetuista juustoista, esimerkkinä kypsytetyt juustot, tai maidon kemiallisesta saostamisesta kaseiinin isoelektriseen pisteeseen. Happaman heran pH on matala, noin 4,6 (kaseiinin isoelektrinen piste) (Bylund 2003, Gésan-Guiziou 2013, Riera Rodríguez ym. 2014).

Happaman ja makean heran erot

Taulukossa 1.1. on vertailtu sekä makean että happaman heran koostumuksia. Heran sisältämistä proteiineista tärkeimmät ovat α -laktalbumiini, β -laktoglobuliini sekä naudan seerumi albumiini (BSA), ja lisäksi laktoferriini ja immunoglobuliinit (Kilara & Vaghela 2004, Ramchandran & Vasiljevic 2012).

Taulukko 1.1. Makean ja happaman heran koostumukset (Riera Rodríguez ym. 2014)

Ominaisuus	Makea hera	Hapan hera
pH	5,9–6,3	4,3–4,6
Kuiva-aine (%)	6,4	6,2
Rasva (%)	0,5	0,04
Laktoosi (%)	4,6	4,0
Maitohappo (%)	0,05	0,8
Mineraalit (%)	0,5	0,8
Proteiinit ja muut typpi yhdisteet (%)	0,8	0,7

Hapan hera sisältää vähemmän laktoosia ja proteiinia kuin makea hera, koska maitohappobakteerit ovat kuluttaneet laktoosia ravinnokseen ja tuottaneet siitä maitohappoa. Makeaa heraa käytetäänkin laktoosin tuotannossa. Proteiini-osat ovat lähes samanlaiset sekä makealla että happamalla heralla, mutta

happamassa herassa ei ole kaseinomakropeptidejä (ts. kaseiini glykomakropeptidejä, GMP). GMP, jolla on useita mielenkiintoisia biologisia aktiivisuuksia, vapautuu kappakaseiinista entsymaattisen reaktion seurauksena, joten sitä ei yleensä esiinny happoherassa. Taulukosta 1.1. nähdään myös, että happaman heran rasvapitoisuus on huomattavasti alempi kuin makean heran. Tämä johtuu siitä, että hapanta heraa saadaan mm. raejuuston valmistuksesta, jossa juustomaitona käytetään rasvatonta maitoa. Happaman heran mineraalipitoisuus on suurempi kuin makean heran johtuen happamien olosuhteiden aiheuttamasta mineraalien (kalsium ja fosfaatti) vapautumisesta kaseiinimiselleistä. Yksi merkittävä ero herojen välillä on se, että happohera sisältää kalsiumfosfaattia, jota ei makeassa herassa ole ollenkaan tai sitä on hyvin pieniä määriä. Happaman heran membraanisuodatuksessa permeaattivuo hidastuu kalsiumfosfaatin vaikutuksesta ja nopeutuu matalan pH:n vaikutuksesta (Glover 1985, Sienkiewicz & Riedel 1990, Gésan-Guizieu 2013).

Juustopöly on heraan jäänyttä erittäin hienojakoista juustoa (partikkelikoko < 1 mm), jota muodostuu juuston valmistuksen aikana juoksettuman leikkauksen ja juuston keiton sekä hämmennyksen aikana. Juustopölyn jääminen heraan pienentää saantoa ja lisäksi haittaa membraanisuodatusta. Juustopöly pyritäänkin poistamaan ennen membraanisuodatusta esimerkiksi seulan ja/tai erityisen pölyn poistoon tarkoitetun lingon avulla. Juustopölyn muodostumiseen ja sen määrään vaikuttavat paljon käytettävät laitteet ja niiden tekniset ratkaisut sekä saostuman ominaisuudet.

Juustoloiden jätevesien koostumus

Ergüderin ym. (2001) mukaan juustoloiden jätevesi sisälsi mineraaleja 0,46–10 %, kuiva-ainetta 0,1–22 kg/m³, fosforia 0,006–0,5 kg/m³ ja kokonaistyppeä 0,01–1,7 kg/m³. Jäteveden orgaaninen kuorma oli 0,6–102 kg/m³ ja pH 3,3–9,0. Orgaanisen aineen kuorma koostui laktoosista (0,18–60 kg/m³), proteiinista (1,4–33,5 kg/m³) ja rasvoista (0,05–10,58 kg/m³). Orgaanisesta aineesta noin 99 % on biohajoavaa (Ergüder ym. 2001).

Heraa sisältävien jätevesien perinteisistä käsittelyistä suurin osa perustuu biologisiin prosesseihin. Ympäristöön päästetty hera voi aiheuttaa mm. liiallista hapenkulutusta, läpäisemättömyyttä, rehevöitymistä ja myrkyllisyyttä (Tejayadi & Cheryan 1995).

Raaka-aineelle lisäarvoa tuottavat teknologiat aiheuttavat kustannuksia, joten ne eivät yleensä sovellu pienille ja keskikokoisille meijereille, joille biologiset ja/tai fysikaalis-kemialliset menetelmät ovat sopivampi vaihtoehto.

Biologinen käsittely ilman lisäarvon tuottoa on

- aerobinen hajottaminen

Biologiset käsittelyt lisäarvoa tuottaen ovat

- anaerobinen hajottaminen
- laktoosin hydrolyysi
- fermentointi etanoliksi
- fermentointi vedykksi
- fermentointi maitohapoksi
- sähköntuotanto mikrobiallisten polttokennojen avulla

Fysikaalis-kemialliset käsittelyt ovat

- terminen ja isoelektroninen saostus
- termokalsinen saostus
- koagulaatio/flokkulaatio
- happosaostus

- sähkökemialliset tekniikat
- membraanitekniikat
- suorat maakäsittelysovellukset

Heraa joutuu viemäriin pääasiassa juustomassan puristamisen ja pesun yhteydessä. Juustokattiloiden epätäydellisen tyhjennyksen takia viemäriin voi päästä sekä juustomassaa että hera, jolloin ne voivat aiheuttaa merkittävää kuormitusta jätevesiin. Huolimatta siitä, että heran talteenotto on toteutettu Suomessa kaikissa meijereissä, hera on suurin juustomeijereiden jätevesikuormituksen aiheuttaja.

Valion ja vesihallituksen tutkimusten (Hiisivirta 1976) mukaan juustomeijereiden jätevesikuormitus on seuraavanlainen:

- jätevesimäärä 1,5...2,3 m³/maitotonni
- BOD₅ 2,5...5,8 kg/maitotonni
- kokonaisfosfori 0,03...0,096 kg/maitotonni
- kokonaistyyppi 0,1...0,22 kg/maitotonni

Ruotsalaisen tutkimusten (Hiisivirta 1976) mukaan juuston valmistuksen jätevesien BHK-kuorma oli noin 2,5 kg maitotonnia kohti. Amerikassa on todettu Chedda-juuston valmistuksessa muodostuvaksi jätevesimääräksi 0,77 m³ ja BOD₅-kuormaksi 2,95 kg maitotonnia kohti (Hiisivirta 1976). Meijereiden jätevesien käsittelystä ja käytännön esimerkkejä ovat koonneet Brazzale ym. (2019).

Sivukierro-hankkeessa toteutetut tutkimukset

Kysely pienjuustoloille

Heran käsittelystä tehtiin kysely kahdessa osassa, ensin elokuussa 2019 pienjuustoloiden tapaamisessa pienelle ryhmälle ja sähköpostikyselynä helmikuussa 2020. Kyselyn tavoitteena oli selvittää heramääriä, niiden käyttöä sekä yritysten kiinnostusta heran jatkojalostukseen. Pienjuustoloita toimii Suomessa noin 50. Kyselyn perusteella on mahdollista rakentaa yritysten alueellista yhteistyötä infran ja logistiikan kehittämisessä.

Heran laatu riippuu valmistettavasta juustosta. Kypsytettyjen juustojen valmistuksessa kattilamaitoon lisätään maitohappobakteereja, jotka tuottavat prosessoinnin aikana heraan maitohappoa ja muita aineenvaihduntatuotteita ja laskevat heran pH:ta. Suolaa ei yleensä lisätä maitoon (hapan hera tai suolainen hapan hera). Tuorejuustojen kuten leipäjuuston valmistuksessa maitohappobakteereja ei maitoon yleensä lisätä, mutta maitoon voidaan lisätä suolaa (makea hera tai suolainen makea hera). Heran laatu voi näin ollen vaihdella samassa yrityksessä riippuen valmistettavasta juustosta.

Alustava suullinen kysely heran käsittelystä tehtiin Pienmeijeripäivässä. Paikalla oli sekä pienmeijerien (8) että sidosryhmien edustajia (yhteensä n. 20 hlöä)

Yrityksissä käytettiin heraa:

- Rehuksi sellaisenaan - 2 yritystä
- Jäteveden joukkoon - 4 yritystä
- Biokaasulaitokselle - 1 yritys
- Peltoon - 1 yritys

Heran käsittelystä aiheutui mm. rahti- ja jätevesikustannuksia. Yrityksillä oli kiinnostusta myös heran jatkojalostukseen.

Sähköpostikysely heran käytöstä pienmeijereille lähetettiin helmikuussa 2020 noin 40 pienelle maitoalan toimijalle. Yhteystiedot kerättiin Ruokaviraston ylläpitämästä maitoalan laitosten luettelosta sekä meijeriyritysten internetsivuilta. Kyselyyn saatiin vastaukset nopeasti 13 eri meijeriyritykseltä. Kyselystä ei lähetetty muistutusta vastaamatta jättäneille. Yhden meijeriyrityksen toiminta oli päättynyt jo kesällä 2019. Kaksi vastanneista meijeriyrityksistä valmisti vain jogurttia eikä tässä toiminnassa heraa synny lainkaan.

Yhteenveto sähköpostikyselyn tuloksista:

Mihin meijerissä syntyvä hera käytetään: vastausten lukumäärä (heramäärä 1000 l)

- Rehuksi sellaisenaan: 2 vastausta (478 / yksi yritys).
- Jäteveden joukkoon: 4 vastausta (15–340), joista 3 yrityksessä viemäriverkon kautta, 1:ssä erilliskuljetuksena.
- Muu käyttö
 - imeytys pellolle: 2 vastausta (55 ja 90)
 - kompostiin/maaperään imeytys tai biokaasulaitokselle 1 (0,5).

Vastanneiden yritysten heran määrä ja laatu: Yhteensä heraa muodostui yrityksissä n. 1 000 000 l. Herasta noin puolet oli hapanta heraa ja puolet makeaa heraa. Lisäksi osa herasta oli suolaista.

Aiheuttaako heran käsittely kustannuksia? Kyllä / 4 vastausta, Ei / 5.

Mistä kustannukset johtuvat?

- Jätemaksu, heran kuljetusmaksut (arvio 20 000 €/v, 1 yritys)
- Työ- ja laitekustannuksia: pellolle levittäminen, pumppaukset (arvio 1500 €/v, 1 yritys)
- Vähän, pakastuskustannuksia

Oletko kiinnostunut heran käytöstä elintarvikkeiden valmistukseen? Kyllä 7 yritystä, Ei 2.

Esimerkkejä:

- Leipomotuoteisiin yhteistyössä leipomoiden kanssa, kinuski, juomat (alkoholi, herajuomat), herajuusto.
- Muu käyttö: Rehukäyttö, saippua

Muodostuvan heran määrän vaihtelu eri pienmeijereissä oli suurta. Tämä kuvaa hyvin pienmeijereiden koon ja toiminnan eroja. Pienmeijerit ovat yrittäjien itsensä työllistäviä, paikalliseen tuotteiden myyntiin keskittyviä yrityksiä tai useita henkilöitä työllistäviä, omaa maakuntaa laajemmilla markkinoilla toimivia yrityksiä. Näin ollen pienmeijereiden haasteet, tarpeet ja toiveet ovat erilaisia.

Kyselyyn vastanneissa meijeriyrityksissä syntyy heraa vuosittain yli miljoona litraa. Vaihtelu heran määrässä meijereiden välillä oli kuitenkin suurta, noin 500 litrasta lähes 500 000 litraan vuosittain. Syntynyt hera on osin hapanta heraa, jota syntyy pääasiassa kypsytettyjä juustoja valmistettaessa. Hapanta heraa oli noin puolet heramäärästä ja noin puolet oli ns. makeaa heraa, jota syntyy pääasiassa tuorejuustojen valmistuksessa. Syntyvien heralaatujen moninaisuus myös vaikeuttaa heran hyötykäyttöä. Kyselyssä kysyttiin ainoastaan, millaisista prosesseista heraa syntyy. Heran jatkojalostuksessa tuoteidean tulisi olla kokonaisuudessaan toimiva eli oltava toteutettavissa pienin investoinnein ja työjärjestelyin täydentäen yrityksen nykyistä tuotevalikoimaa, ja tuotteen valmistuksen olisi oltava kannattavaa.

Kustannukset heran käsittelystä syntyvät pääasiassa jätemaksuista ja heran kuljetuksista. Osa kustannuksista on työ- ja laitekustannuksia, jotka aiheutuvat heran levittämisestä pellolle ja pumppauksista. Nämä ovat usein kuitenkin yhteisiä naudan lietteen levityksen kanssa.

Jätevesikartoitus

Arctic Milk Oy:ssä tehtiin jätevesikartoitus 17.10.2019 yhden päivän tuotannosta. Ennen kartoitusta tehtiin koesuunnitelma ja käytiin tutustumassa näytteenottokohteisiin. Näytteenoton yhteydessä kirjattiin valmistusmäärät, käytetty raakamaito sekä veden kulutus. Jäteveden määrälle ei ole yrityksessä omaa mittausta. Näytteitä otettiin raakamaidosta sekä herasta kahden tuotteen valmistuksen yhteydessä sekä yksi näyte herasäiliöstä, jossa oli koko päivän herat. Tuotenäytteitä otettiin yhdestä leipäjuuston valmistuserästä ja yhdestä munajuustoerästä, jotka olivat samoista valmistuseristä kuin maito ja hera. Analysoitavat jätevesinäytteet otettiin kokoomanäytteinä yksittäisistä lattiakaivoista, koska yrityksessä ei ollut kokoomakaivoa jätevedelle. Tämän vuoksi näytteet eivät kuvaa koko jätevesimäärän koostumusta. Näytteet kerättiin lattiakaivoista noin tunnin välein työpäivän aikana yhteensä kahdeksan. Kunkin kaivon kokoomanäytteestä otettiin analysoitava näyte. Näytteistä tutkittiin pH, sameus, kiintoaine, liukoinen ja kokonaistyyppi ja -fosfori sekä kemiallinen hapenkulutus (COD_{Cr}) (taulukko 1.2). Tuotteista tehtiin koostumusanalyysit (proteiini, rasva, kuiva-aine, laktoosi) (taulukko 1.3). Näytteenotto oli tarkoitus uusaa, mutta koronarajoituksista johtuen se jouduttiin peruuttamaan. Tammikuussa 2020 haettiin Arctic Milk Oy:stä heraa ricotta-juuston prosessointikokeita varten (taulukko 1.2). Arctic Milk Oy testasi jäätympisteen aleneman käyttöä jätevesiseurannassa kryoskoopilla. Tulokset ovat alustavia ja ne riippuvat valmistettavasta tuotteesta. Testaamista jatketaan edelleen.

Taulukko 1.2. Tulokset kartoituksesta Arctic Milk Oy:n hera ja jätevesinäytteistä, jotka otettiin lokakuussa 2019 (tp = tuorepaino).

Näytteen nimi	Kuiva- aine	COD _{Cr}	N	NH ₄ -N (1:5 vesi)	NO ₃ -N (1:5 vesi)	P	PO ₄ -P	Rasva	pH
	g/l	g/l	% tp:ssa	mg/kg tp	mg/kg tp	mg/kg tp	mg/kg	% tp:ssa	
Kartoitus 2019									
Raakamaito	140	209	0,54	4,07	3,04	954	406	3,85	6,8
Leipäjuustohera (1)	71	77	0,14	3,66	0,45	422	209	0,48	6,5
Munajuustohera (2)	65	83	0,06	32,80	0,54	450	237	1,70	5,8
Kokoomahera (3)	84	78	0,66	97,24	0,02	452	214	0,86	4,6
Esihuuhteluvesi (n = 2)	5 – 14	8 – 24	0,03 - 0,06	0, 17 - 0,80	1, 02 - 0,95	43 - 99	22 - 50	0,25 - 0,69	7,1 – 7,4
Lattiakaivovesi (N = 6)	3 – 66	4 – 55	0,01 – 0,13	0,64 – 5,81	0,38 – 34, 00	16 – 346	10 - 187	0,15 – 0,35	5,6 – 7,1
Ricotta-juuston valmistukseen käytetty hera v. 2020(3).	57 - 64	63	0,8 – 0,14	7,29	0,7	412	403	ei tehty	5,8

Taulukko 1.3. Juustojen koostumusanalyysit. Leipäjuusto ja munajuusto olivat saman päivän erästä kuin taulukon 1.2 hera ja jätevesitulokset (tp = tuorepaino).

Näytteen nimi	Kuiva-aine	N	Proteiinit	Rasva	NaCl	pH
	%	% tp	% tp	% tp	g/100 g	
Leipäjuusto (2019)	49,17	2,73	34,70	24,40	-	6,24
Munajuusto (2019)	44,49	2,89	40,60	18,70	-	5,90
Ricotta erä 1 (2020)	26,38	1,81	11,31	11,1	0,65	6,08
Ricotta erä 2 (2020)	24,63	1,63	10,19	7,96	0,76	5,25

Hyödyntäminen

Prosessointikokeiden tarkoituksena oli ottaa talteen heran proteiini valmistamalla ricotta-juustoa. Heraproteiini on ravitsemukselliselta laadultaan korkealaatuista, ja sen talteenotto vähentää herasta jätevesiin aiheutuvaa ravinnekuormaa. Ricotan tuotanto sopii hyvin pienjuustoloille, eikä kotimaista ricottaa ole tällä hetkellä tietääksemme markkinoilla.

Keväällä 2019 tehtiin ensin laboratoriomittakaavan esikokeet Arctic Milkistä haetusta leipäjuustoherasta. Esikokeessa optimoitiin prosessointiolosuhteet ja heraan lisättävien happojen määrä. Kokeita jatkettiin pilot-mittakaavassa Luken Jokioisten Food Pilot -koehallissa tammikuussa 2020. Jäljelle jääneestä nesteestä tehtiin alustava koe etanolin tuottamiseksi.

Juuston ja erityisesti tuorejuuston valmistuksessa heraan jää runsaasti laktoosia tai sen pilkkomistuotteita glukoosia ja galaktoosia, jotka voidaan fermentoida hiivojen avulla etanoliksi. Herasta valmistettuja alkoholijuomia on markkinoilla mm. Tanskassa ja Britanniassa. Prosessin taloudellisuutta voidaan parantaa suodattamalla herasta pois vettä. Leipäjuuston hera sisältää usein maitoon lisättyä suolaa, mikä voi rajoittaa sen käyttöä, ellei suolaa poisteta esimerkiksi käänteisosmoosin avulla. *Kluyveromyces marxianus* -hiivaa on tyypillisesti käytetty alkoholin tuotantoon pastöroidusta ja esikäsitellystä herasta. Käymisen lopussa alkoholipitoisuus on n. 3% etanolia v/v. Tislatus lopputuotteen laatuun vaikuttavat heran alkuperä, heran esikäsitely, käymisolosuhteet ja tislausprosessi (Hughes ym. 2019).

Heraa käytetään myös biokaasun tuotantoon, esim. Ahvenanmaalla Ålandsmejerietissä, ja siitä löytyy tutkimustietoa. Biokaasupotentiaaleja on liitteessä 4.

Rehuksi käytettävä hera

Heran hyödyntämistä rehuna vaikeuttaa sen korkea vesipitoisuus (94 %) ja käytännössä meijeri joutuu maksamaan heran hyödyntämisestä rehuna korkeiden kuljetuskustannusten vuoksi. Kuivatun heran, jonka kuiva-ainepitoisuus on noin 20 %, hyödyntäminen on helpompaa ja rehukäyttö voi olla meijerille kannattavaa, riippuen kuivauskustannuksista. Herajauhon hinta on vähän alhaisempi kuin rehuviljan. Kun heran tuottaja ja hyödyntäjä sijaitsevat lähellä toisiaan, heran rehukäyttö on kannattavaa.

Kurkun ja tomaatin lehdet ja varret

Kurkun ja tomaatin tuotannossa muodostuu runsaasti vartta ja lehtiä (taulukko 2.1). Kurkun ja tomaatin vihermassan hyödyntämisessä ongelmana ovat narut ja klipsit, joilla kasvit pidetään ylhäällä. Tällä hetkellä suurin osa kurkun ja tomaatin varsista ja lehdistä kompostoidaan. Kompostoinnin aikana erottuu nestettä, joka johdetaan esimerkiksi jäteveden käsittelyyn. Kompostoidusta lopputuotteesta seulotaan muovinarut ja klipsit erilleen. Kurkun ja tomaatin varret ja lehdet voidaan käsitellä myös biokaasulaitoksessa. Arobio-hankkeessa koottua tietoa kurkun ja tomaatin varsien koostumuksesta on taulukossa 2.2.

Taulukko 2.1. Tomaatti- ja kurkkuviherbiomassan vuosittainen määrä Suomessa (Niemi 2019).

Jakeet	KURKKU	TOMAATTI
viherbiomassa	37 310–38 909 m ³	20 880–25 055 m ³
lehdet	4 500 t	6 700–11 600 t
varsi	13 500 t	3 867–4 142 t

Taulukko 2.2. Kurkun ja tomaatin varsien ja lehtien koostumus (Niemi 2019).

Analyysi	KURKKU		TOMAATTI	
% tp	Varsi	Lehti	Varsi	Lehti
Kuiva-aine (TS)	6–8	11–14	10–14	12–14
% ka	Varsi	Lehti	Varsi	Lehti
Ligniini	10–20	15	15–17	10
Pitkäketjuiset hiilihydraatit	30–33	17	49–54	15
Vesiliukoiset sokerit	3	1	2–7	7
Typpi	2	3–5	1–2	3–5
Orgaaninen aines (VS)	77–85	68–78	80–89	74–76
Epäorgaaninen aines (TS-VS)	15–23	22–32	11–20	24–26

Kurkun lehti-varsinäytteiden käsittely

Helmikuussa 2019 haettiin kurkunvarsi/lehti -näytteet Aurinkotarhat Oy:stä. Kurkun varsi -ja lehtimassasta puristettiin nestettä yrityksen omalla puristinprototyypillä. Neste hygienisoitiin, ja jakeista analysoitiin Luken laboratoriossa kiintoaine, liukoinen ja kokonaistyyppi sekä fosfori ja kalium (kuva 2.1).



Kuva 2.1 Kurkunvarsi- ja lehtimassasta puristettua nestettä sekä kurkun varsia ja lehtiä.

Puristenesteen ravinnepitoisuudet olivat seuraavat: typpi 0,15–0,17 %, fosfori 0,01–0,03 % ja kalium 0,5 %. Puristusjännöksen kuiva-ainepitoisuus oli noin 18 % (taulukko 2.3).

Taulukko 2.3. Kurkun varsista ja lehdistä puristetun nesteen ja kuivajakeen analyysitulokset. Näytteet 27.2.2019.

Raaka-aineet			Puristettu kurkun varsi + lehti			
Analyysi	Kurkunlehti	Kurkunvarsi	Kasvisneste	Hyg. kasvisneste	Puristusjäännös	Kasvisneste %
Kuiva-aine %	7,7	8,3	3,4	3,2	17,7	
Kok typpi % ka	4,1	2,0	-	-	3,4	
Kok typpi % tp	0,3	0,2	-	-	0,7	
NH ₄ -N mg/l	-		141,7	84,1	-	
NO ₃ -N mg/l	-		905,8	1231,1	-	liuk. N 0,13 %
K g/kg tp	4,6	5,4	4,8	4,9	6,3	0,49 %
P g/kg tp	0,6	0,7	0,4	0,3	1,5	0,03 %
Kok N mg/l	-	-	1487,5	1790,6		0,17 %
Kok P mg/l	-	-	25,3	13,8		0,01 %

Puristimien testaus

Kurkun varsista ja lehdistä puristettiin nestettä puristinprototyypillä ja Pellon Groupin yksiruuvipuristimella, joka on suunniteltu varsinaisesti rehumateriaalin puristukseen. Prototyyppipuristimella puristetun kurkun varsi-lehtimassan puristejäännöksen kuiva-ainepitoisuus oli 18 %.

Pellonpajan yksiruuvipuristinta testattiin tomaatinvarsien ja lehtien puristuksessa 4.3.2020. Tomaatin lehdet ja varret haettiin Luke Piikkiön kasvihuoneelta. Varret katkottiin pätkiksi ja silputtiin Viking GE 150 -okasilppurilla. Tomaatin lehtien puristejäännöksen kuiva-ainepitoisuus vaihteli välillä 16–20 %, tomaatin varsien puristejäännöksen kuiva-ainepitoisuus oli 23 % (taulukko 2.4). Materiaalin silppuaminen ennen puristusta parantaa puristustulosta eli nesteen erottumista. Massasta saatiin puristettaessa noin 70 % nestettä ja 30 % kuivajaetta.

Kurkun varsi-lehtipuristusenesteiden separointi ja suodatus

Aurinkotarhojen kurkun varsi-lehtineste separoitiin 19.2.2020 Frau CN3 -laboratoriosentrifuugilla (kuva 2.2.), jolloin nesteestä saatiin erilleen kiinteää, vihreää ainetta (ka. 21 %). Saatu neste mikro-suodatettiin (suodatin 0,2 µ, LabStak M20, Alfa Laval –suodatuslaitteisto) (kuva 2.3). Alun perin voimakkaan vihreä neste muuttui mikro-suodatuksessa väriltään kellertäväksi. Suodatinkalvo tukkeutui suodatuksessa jonkin verran. Seuraavana päivänä mikro-suodatettu neste ultrasuodatettiin (50 kDa). Suodatinkalvo tukkeutui jossain määrin, eikä kalvon puhdistus onnistunut. Kalvoissa on eroja, ja jokin toinen kalvomateriaali voisi toimia paremmin.

Mikro-suodatus vähensi kasvisnesteestä mikrobeja. Taulukossa 2.4 on esitetty kokonaisbakteerien, hiivojen ja homeiden määrät kurkun lehti-varsipuristusenesteiden mikro-suodatetusta retentaatista ja permeaatista (kalvon läpäissyt osa). Kokonaismikrobien määrä laski $1,4 \cdot 10^7$ pmy:stä 80 pmy:hyn. Myös hiivojen ja homeiden pesäkemäärät olivat permeaatissa hyvin pienet.

Taulukko 2.4. 14.2.2020 mikro-suodatettujen kurkun puristusnesteiden pakastetuista näytteistä analysoitiin 19.2.2020 kokonaisbakteerit, hiivat ja homeet.

Näyte	Kok. bakt/PCA 30°, 3 vrk pmy/g	hiivat/DRBCA 25°, 5 vrk pmy/g	homeet/DRBCA 25°, 5 vrk pmy/g
Retentaatti	$1,4 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^4$
Permeaatti	$8,0 \cdot 10^1$	$<1,0 \cdot 10^1$	$<1,0 \cdot 10^1$

Suodatuksen jälkeen nestettä voidaan konsentroida esimerkiksi haihduttamalla. Nesteen esikäsittelyä täytyy kuitenkin tehostaa, jotta mikro- ja ultrasuodatus olisivat mahdollisia, sillä kalvot tukkeutuivat jonkin verran suodatuksen aikana. Esimerkiksi selluloosa ja ligniini tukkivat kalvoja.



Kuva 2.2. Kurkun varsi-lehti-puristenesteen separointi, Frau CN3 -laboratorioseparaattori.



Kuva 2.3. Mikro-suodatus tehtiin LabStak M20 -suodatuslaitteistolla.

Ravinnepitoisuudet jakautuvat nesteen erotuksessa

Tomaatin varsien ja lehtien puristeneste oli happamampaa kuin kurkun lehtien ja varsien puristeneste. Ravinteet jakautuivat puristuksessa eri jakeisiin: typpi ja fosfori jäivät pääosin puristejäännökseen, kun taas kalium jakaantui puristenesteeseen ja puristejäännökseen. Puristenesteiden kemiallinen hapenkulutus vaihteli välillä 20,5–37,8 g/l (taulukot 2.5 ja 2.6).

Taulukko 2.5 Kurkun lehti-varsinesteen, separoidun nesteen ja kiintoaineen sekä mikro- (MF) ja ultrasuodatettujen (UF) nestejakeiden analyysitulokset.

KURKKU	Puristin 1						
Analyysi	lehti-varsi neste	Separoitu neste	Separoitu kiintoaine	MF permeaatti	MF retentaatti	UF permeaatti	UF retentaatti
kuiva-aine %	2,2	2,0	21,1	1,3	2,6	1,4	3,1
N % ka	0,1	–	5,4	0,1	0,1	0,1	0,1
K g/kg	4,6	4,2	3,0	3,7	4,1	4,2	4,8
K g/kg ka	–	–	14,3	–	–	–	–
NH ₄ -N mg/l	57,1	52,4	–	36,1	75,7	86,6	138,4
NO ₃ -N mg/l	1054	976	–	935	958	827	677
P g/kg	0,23	0,19	2,0	0,14	0,28	0,17	0,62
P g/kg/ka	–	–	9,47	–	–	–	–
liuk. P mg/l	117	–	–	–	–	–	–
pH	7,5	–	–	–	–	–	–
COD, g/l	9,0	–	–	–	–	–	–

Taulukko 2.6. Kurkun lehtien ja tomaatin lehtien ja varsien sekä näiden puristenesteen ja puristejäännösten analyysitulokset.

Analyysi	KURKKU Puristin 2			TOMAATTI Puristin 2, N=2			Puristin 2		
	lehti	neste	jäännös	lehti	neste	jäännös	varsi	neste	jäännös
kuiva-aine %	9,0	3,7	11,7	10,4–14,2	5,5–5,8	16,2–19,8	16,8	3,7	23,2
N % ka	4,5	0,1	4,0	3,1	0,1–0,13	2,9–3,1	1,4	0,2	1,4
K g/kg	5,8	5,6	5,6	5,9–7,3	5,1–6,31	5,7–7,8	5,9	5,8	6,4
K g/kg ka	64,8	–	47,9	41,6–70,2	–	29,0–48,3	35,7	–	27,8
NH ₄ -N mg/l	–	56,5	–	–	38,7–58,5	–	–	70,7	–
NO ₃ -N mg/l	–	1081	–	–	814–1330	–	–	1038	–
P g/kg	0,76	0,43	1,0	0,7–0,9	0,66–0,74	0,9–1,1	1,2	1,2	1,1
P g/kg/ka	8,4	–	8,8	6,3–7,1	–	4,6–6,79	6,9	–	4,6
liuk. P mg/l	–	287	–	–	853–886	–	–	1558	–
pH	–	7,06	–	–	5,2	–	–	5,1	–
COD g/l	–	26,4	–	–	20,5–37,8	–	–	26,6	–

Hemiselluloosa, ligniini, selluloosa ja uuteaine

Kuivatuista tomaatin ja kurkun varsista ja lehdistä (Risto Korpinen Luke:sta määrittä) määritettiin rasva- ja vesiliukoiset uuteaineet sekä hemiselluloosa-, ligniini- sekä kutiinipitoisuudet (mg/g) Luken laboratoriossa. Tulokset ovat taulukoissa 2.7–2.9. Näytteet kuivattiin kylmäkuivurilla ja jauhettiin.

Taulukko 2.7. Tomaatin ja kurkun kuivattujen ja jauhettujen lehti-varsinäytteiden rasva- ja vesiliukoiset uuteaineet.

Näyte	Jae/käsittely	Rasvaliukoiset uuteaineet mg/g	Vesiliukoiset uuteaineet mg/g
Tomaatin varsi	kokonainen silputtu	8,8	101,0
Tomaatin varsi	puristusjäännös	11,0	61,3
Tomaatin lehti	kokonainen	43,1	142,0
Tomaatin lehti	kokonainen	55,0	121,1
Tomaatin lehti	puristusjäännös	37,4	77,2
Tomaatin lehti	puristusjäännös	31,5	81,9
Kurkun lehti	kokonainen	38,3	77,3
Kurkun lehti	puristusjäännös	21,7	56,3

Taulukko 2.8. Kuivattujen tomaatin varsien lehtien sekä kurkun lehtien ja näiden puristusjäännöksen (pj) hemiselluloosapitoisuudet.

Näyte	Man-noosi mg/g	Glu-koosi mg/g	Galaktoosi mg/g	Ksyloosi mg/g	Arabinoosi mg/g	Rhamnoosi mg/g	Glukuroni-happo mg/g	Galakturoni-happo mg/g	4-O-Me-Glu-kuronihappo mg/g
Tomaatin varsi	10,0	23,5	17,5	116,4	14,3	13,7	5,5	66,0	14,5
Tomaatin varsi pj	10,6	28,5	17,9	126,2	15,2	15,4	4,4	74,8	15,9
Tomaatin lehti	4,2	84,4	17,4	15,7	10,2	9,2	4,8	38,4	30,0
Tomaatin lehti	4,2	19,8	14,4	17,9	10,6	9,7	2,7	40,3	1,3
Tomaatin lehti pj	9,0	31,3	25,4	39,2	18,1	19,4	3,9	86,8	3,1
Tomaatin lehti pj	9,2	88,9	31,7	47,0	19,7	17,6	5,2	81,7	3,8
Kurkun lehti	12,3	101,3	33,0	22,5	21,4	14,1	5,6	80,7	3,8
Kurkun lehti pj	15,1	184,5	33,9	34,5	31,9	18,6	6,1	100,3	4,8

Kurkun ja tomaatin lehdet sisältävät runsaasti mm. glukoosia ja galakturonihappoa. Pääosa kurkun ja tomaatin lehtien ja varsien uuteaineista on vesiliukoisia.

Taulukko 2.9. Selluloosa-, ligniini- ja kutiinipitoisuudet, pj = puristejäännös.

Näyte	Selluloosa (mg/g)	Ligniini (mg/g)	Kutiini (mg/g)
Tomaatin varsi	299,1	129,8	180,1
Tomaatin varsi pj	367,6	159,7	91,6
Tomaatin lehti	133,0	121,2	346,5
Tomaatin lehti	115,1	66,5	521,4
Tomaatin lehti pj	221,9	87,7	339,6
Tomaatin lehti pj	153,5	71,7	356,5
Kurkun lehti	22,0	84,6	483,0
Kurkun lehti pj	7,9	68,4	415,9

Taulukkoon 2.10. on laskettu keskiarvot kuivattujen tomaatin varsien ja lehtien ja näiden puristejäännösten uuteaineiden (rasva ja vesiliukoinen), ligniinin, hemiselluloosan ja selluloosan mitatuista pitoisuuksista. Vertailuarvoina ovat ruohon, oljen, ruokohelven ja puun vastaavat pitoisuudet (Vänninen 2009).

Taulukko 2.10. Kooste kuivattujen tomaatin varsien, lehtien ja kurkun lehtien uuteaine- (rasva- ja vesiliukoiset), ligniini-, hemiselluloosa- ja selluloosapitoisuuksista. Vertailuarvoja: ruoho, olki, ruokohelpi ja puu (Vänninen 2009). pj = puristejäännös.

Komponentti	Tomaatti		Tomaatti		Kurkku		Ruoho	Olki	Ruoko- helpi	Puu
	varsi	varsi pj	lehti	lehti pj	lehti	lehti pj				
Uuteaineet %	10,9	7,2	18,1	11,4	11,6	7,8	5 - 15	-	-	alle 5
Ligniini %	13,0	16,0	9,4	8,0	8,5	6,8	10 - 25	20	14	20 - 30
Hemiselluloosa %	20,1	21,8	22,5	36,6	21,0	32,5	20 - 35	23 - 30	22	25 - 35
Selluloosa %	29,9	36,8	12,4	18,8	2,2	0,8	30 - 45	37	34	40

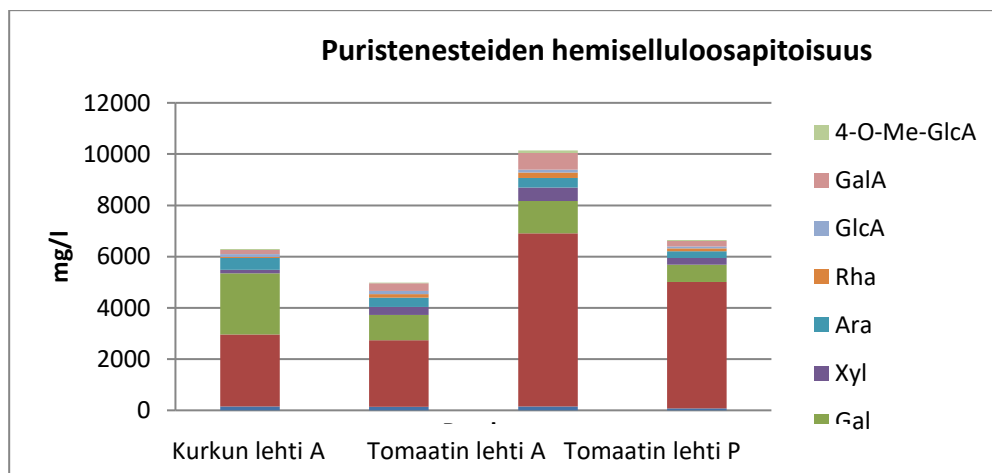
Tomaatin ja kurkun lehtien puristejäännösten hemiselluloosapitoisuudet ovat korkeat, samoin tomaatin varsien selluloosapitoisuus.

Puristenesteet tomaatin ja kurkun lehdistä ja varsista

Kurkun ja tomaatin lehti-varsinesteistä tutkittiin niiden hemiselluloosapitoisuudet hapan metanolyysillä Luken laboratoriossa. Taulukossa 2.11. ja kuvassa 4 on esitetty kurkun ja tomaatin lehtien puristenesteiden hemiselluloosapitoisuudet. Pitoisuudet vaihtelevat eri lajikkeilla. Taulukossa 2.12. ovat tutkittujen puristenestenäytteiden kuiva-aine ja TSS-pitoisuudet.

Taulukko 2.11. Hemiselluloosatulokset kurkun ja tomaatin lehti- ja varsinesteistä.

Neste- näytteet	Mannoo- si mg/l	Glu- koosi mg/l	Galaktoo- si mg/l	Ksylo- si mg/l	Arabinoo- si mg/l	Rhamno- si mg/l	Gluku- ronihap- po mg/l	Galaktu- ronihap- po mg/l	4-O-Me- Glukuroni- happo mg/l	total mg/l
Kurkun lehti A	145	2810	2388	143	456	46	103	166	37	6295
Tomaati n lehti A	139	2597	982	316	365	134	121	304	31	4989
Tomaati n lehti P	149	6760	1266	525	375	206	112	655	96	10143
Tomaati n varsi P	81	4924	674	270	256	119	74	212	37	6647



Kuva 2.4. Kurkun ja tomaatin lehtien ja tomaatin varren hemiselluloosapitoisuudet.

Taulukko 2.12. Tutkittujen puristenestenäytteiden kuiva-aine- ja TSS (total soluble solids) -pitoisuudet (%).

Raaka-aine	kuiva-aine% (Kern-IR)	TSS % Brix
Kurkun lehti, A	3,95	3,2
Tomaatin lehti, A	5,38	4,2
Tomaatin lehti, P	5,96	5,5
Tomaatin varsi, P	4,28	3,6

Salaattien valmistuksen sivujae

Salaatin valmistuksen sivujae sisälsi pääosin salaattia, mutta mukana oli myös muita kasviksia, mm. kurkkua, porkkanaa, paprikaa, sipulia ja hedelmien kuoria. Seos silputtiin kasvissilppurilla, pakattiin ja neste puristettiin erilleen seuraavana päivänä.

Alkuperäisen näytteen massa (puristimelle) oli 1838 g, josta saatiin kasviskiintoainetta 274 g (14,9 %) ja kasvisnestettä 1471 g (80 %). Puristus tehtiin kaksoisruuvipuristimella Angel® juicer 8500S (Angel, Naarden, Alankomaat). Taulukossa 2.13. ovat analyysitulokset puristejäännöksen ja taulukossa 2.14. puristenesteen laadusta.



Kuva 2.5. Salaattisivutuoteseos:

Jäävuorisalaatti
Porkkana
Tomaatti
Kurkku
Paprika
Vesimelonin ja ananaksen kuori
Sipuli
Purjo

Taulukko 2.13. Salaattipuristejäännöksen laatu.

Analyysi	Salaattisivutuoteseos	Puristejäännös
Kuiva-aine %	5,1	14
Kok. P mg/kg ka	3,6	2
Kok. N g/kg ka	23	18
K g/kg ka	23	13

Taulukko 2.14. Salaattisivujakeesta puristetun nesteen laatu.

Analyysi	Puristeneste
Kuiva-aine mg/l	26 100
Kok. N mg/l	680
P mg/l	150
Fosfaatti mg/l	98
NH ₄ -N mg/l	110
NO ₂ -N mg/l	1,2
K mg/l	1,1
pH	5,7
BOD ₇ mg/l	20 000
COD _{Cr} mg/l	32 000



Kuva 2.6. Puristenestettä salaattisivujakeesta.

Ravinteet jäivät puristuksessa pääosin kuivajakeeseen. Puristenesteen hapenkulutus oli korkea. Nesteen puristus erilleen salaatinvalmistuksen sivujakeista parantaa puristejäännöksen kompostoitumista ja vähentää seosaineiden tarvetta. Puristeneste tulisi hygienisoida ja hyödyntää esim. lannoitevalmisteena.

Hyödyntäminen

Kasvismateriaalista puristettujen nesteiden hapenkulutus on korkea, ja ne sisältävät myös mm. ravinteita. Hygienisoitu, stabiloitu neste voidaan hyödyntää esim. lannoitevalmisteena, ja puristejäännös voidaan esimerkiksi kompostoida

Kasvismateriaali sisältää monia komponentteja, esim. hemiselluloosaa. Hemiselluloosan hyödyntäminen kiinnostaa muun muassa pakkausmateriaaliaaneina elintarviketeollisuudessa, tekstiilien valmistuksessa sekä esimerkiksi bioetanolin valmistuksessa. Hemiselluloosaa voidaan käyttää esimerkiksi pakkausmateriaalien eristäviin ja biohajoaviin kalvoihin sekä erilaisiin emulsioihin ja kemikaaleihin.

Ravinteiden kierrätys

Taulukoissa 2.15 ja 2.16 on laskettu ravinnemäärät koko vuosittain muodostuvalle kurkun ja tomaatin lehti-varsi-massalle. Yhteensä kurkun ja tomaatin vuotuinen biomassa sisältää fosforia 25 t, typpeä 84 t ja kaliumia 182 t. Biomassan ravinteet tulisi saada ravinnekiertoon: kasviskompostina, lannoiteliuoksina tai hyödyntää muissa tuotteissa.

Taulukko 2.15. Kurkun lehtien ja varsien sisältämät ravinteet

Ravinne	Raaka-aine/määrä			
	Kurkun varsi	13 500 t	Kurkun lehti	4 500 t
P	0,7 g/kg tp	9,5 t	0,76 g/kg	3,4 t
N	0,2 % tp	27 t	0,3 % tp	13,5 t
K	5,4 g/kg tp	73 t	5,8 g/kg	26 t

Taulukko 2.16. Tomaatin lehtien ja varsien sisältämät ravinteet

Ravinne	Raaka-aine/Määrä			
	Tomaatin varsi	4 000 t	Tomaatin lehti	9 000 t
P	1,2 g/kg	4,8 t	0,82 g/kg	7,4 t
N	0,26 % tp	10,4 t	0,37 % tp	33,3 t
K	5,9 g/kg	23,6 t	6,6 g/kg	59 t

Liite 3. Veri, teurastamon jätevesi sekä rasva

Veri

Veren määrä ja prosessointi

Suomessa verta muodostuu teurastamoissa eniten nautaeläimestä, noin 30 kg/eläin. Kokonaismäärältään eniten verta muodostuu broilereiden teurastamisesta: niitä teurastettiin vuonna 2019 82 miljoonaa kappaletta (taulukko 3.1).

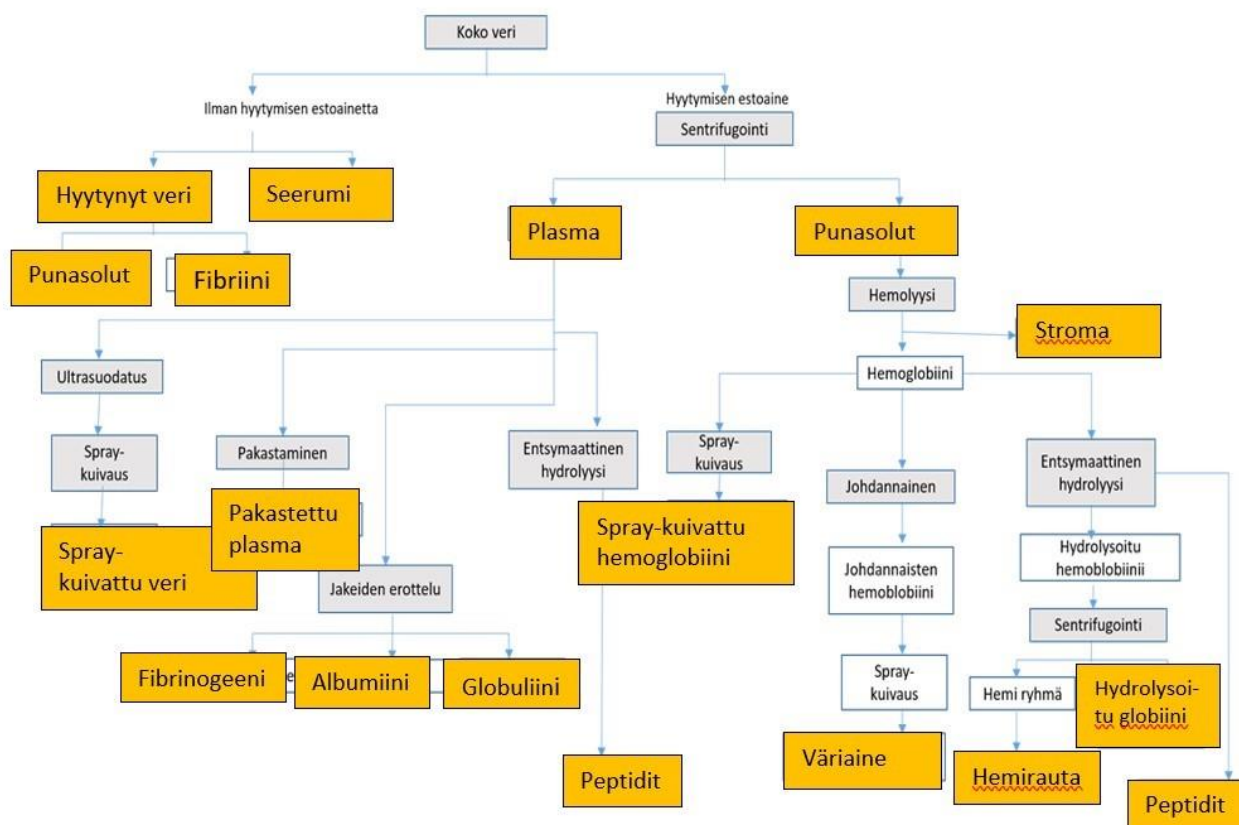
Taulukko 3.1. Teurasveren määrä Suomessa v. 2019 (Luke).

Eläin	Teurastetut eläimet / vuosi	Veren määrä/eläin	Veren määrä t
Nauta	269 269	30 kg	8 078
Sika	1 839 308	3,6 kg	6 621
Lammas	67 050	1,5 kg	100
Broileri	79 194 189	170 g	13 463
Kalkkuna	850 887	950 g	809
Hanhi, ankka	17 599	600 g	10
Poro	72 734	2,3 kg	167
Yhteensä	82 312 036	-	29 248

Noin 40-60 % verestä saadaan valutuksella ruhosta talteen ja loppu verestä jää kapillaareihin ja elimiin ((Gorbatov 1988, Ockerman ja Hansen 2000, Parés ym. 2011).

Eurostatin mukaan Euroopassa teurastettiin vuonna 2014 25 miljoonaa nautaa, 248 miljoonaa sikaa, 43,8 miljoonaa lammasta ja 7,2 miljardia kanaa (Eurostat 2014), mistä muodostuu kaiken kaikkiaan noin 2,5 miljardia litraa verta vuosittain. Tästä on mahdollista tuottaa 1,5 miljardia litraa plasmaa ja miljardi litraa punasoluja (RBC). Kun otetaan huomioon, että veren plasmaproteiinipitoisuus on noin 7 % ja RBC-proteiinipitoisuus noin 35 %, Euroopassa syntyy vuosittain 100 tonnia puhdasta plasmaproteiinia ja 344 tonnia hemoglobiinia. Tämä proteiinimäärä riittäisi kattamaan noin 17 miljoonan aikuisen vuotuisen proteiinin tarpeen olettaen, että päivittäinen tarve on 70 g / päivä.

Veren prosessointimahdollisuudet on esitetty kuvassa 3.1.



Kuva 3.1. Veren prosessointikaavio (Toldra ym. 2019).

Veren hyödyntäminen

Tällä hetkellä teuraseläinten veri hyödynnetään pääosin turkiseläinten rehuna. Rehukeittiöt tuovat myös verijauhetta ulkomailta rehukäyttöön. Siipikarjan verelle ja siitä valmistetulle verijauholle voisi olla kysyntää mm. porsaiden rehuissa. A-Rehu on aiemmin käyttänyt veriplasmaa rehuissa, ja sillä saatiin hyviä kasvatustuloksia. Veren käyttö rehuissa on tällä hetkellä kielletty, mutta siihen on tulossa muutos, jolloin esim. sian verta voidaan syöttää siipikarjalle ja päinvastoin. Verijauhon valmistus voisi olla kannattavaa suuremmassa mittakaavassa, esim. Honkajoki Oy:ssä. Tällä hetkellä verijauhoa ei valmisteta Suomessa. Veren koostumus on esitetty taulukossa 3.2.

Taulukko 3.2. Kokonaisveren kemiallinen koostumus eri eläinlajeista (Gorbatov 1988).

Komponentit	Eläin / komponentit g / 100 g		
	Nauta	Sika	Lammas
Vesi	80,89	79,06	82,17
Kuivat kiintoaineet	19,11	20,94	17,83
Hemoglobiini	10,31	14,22	9,29
Muut proteiinit	6,98	4,26	7,08
Sokeri	0,07	0,07	0,07
Kolesteroli	0,19	0,04	0,14
Rasva	0,06	0,11	0,09
Rasvahapot	-	0,05	0,05

Jos lihan tarkastuksessa havaitaan sellaisia löydöksiä, joiden johdosta verta ei voida katsoa luokan 3 sivutuotteeksi, siitä tulee luokan 2 sivutuotetta. Luokan 2 sivutuotteiden hyödyntämismahdollisuudet ovat luokan 3 sivutuotteita rajoittavampia.

Veri on hyvä proteiinien lähde, siinä on proteiinia noin 18 %. Verijauhossa on proteiinijakeita, joiden lysiinipitoisuus on erittäin korkea verrattuna muihin ruokaproteiineihin, kuten luujauhoon tai lihajauhoon. Tätä proteiinia voitaisiin käyttää vaihtoehtoisena proteiinilähteenä elintarvikkeissa, rehuissa ja muissa tuotteissa, joissa proteiini on tärkeä tekijä. Tällaisten sivutuotteiden tehokkaalla hyödyntämisellä on suora vaikutus talouteen ja ympäristön pilaantumiseen. Veren hyödyntäminen asianmukaisella tavalla on varmistettava, muuten se voi edistää ympäristön pilaantumista. Veriproteiinien jatkokäsittely voi olla ratkaisu verituotteiden lisäarvon lisäämiseksi. Taulukko 3.3 osoittaa, kuinka veriproteiinien väkevöinti, erottaminen ja puhdistaminen voivat lisätä sen markkina-arvoa.

Taulukko 3.3. Verestä saatujen tuotteiden suhteellisen arvon nousu (Dianne Glenn, 2015. Markkinakatsaus, Veripohjaiset proteiinit)

Jalostustekniikka	Tuote	Arvo (AUD / t)
Ei mitään	Veri	195
Vain kuivaus	Verijauho	230
Erottaminen ja kuivaaminen	Hemoglobiini	3 000
	Plasma	5 000
Erottelu, fraktiointi ja kuivaus	Seerumin albumiini	7 390
	Immunoglobuliini	16 280

Veren käsittely ja käyttö maanparannusaineena

Ruokaviraston lannoitevalmistejaoston mukaan veri pitää aina käsitellä sivutuoteasetuksen vaatimusten mukaisesti. Luokan 3 verta voidaan käyttää sivutuoteasetuksen mukaisesti hyväksytyn kompostointilaitoksen tai biokaasulaitoksen syötteenä. Tällöin kompostointi- tai biokaasulaitoksella pitää olla 60 min lämpökäsittely 70 °C:ssa. Verta ei saa käsitellä esimerkiksi lannan käsittelyyn hyväksytyssä laitoksessa.

Verestä voi valmistaa orgaanisena lannoitteena käytettävää verijauhoa. Tällöin käsittelyvaatimus riippuu siitä, minkä eläimen verestä on kyse. Nautojen veri pitää käsitellä painesteriloimalla. Sian verestä verijauhoa voidaan valmistaa myös muilla sivutuoteasetuksen sallimilla käsittelymenetelmillä (EU) N:o 142/2011 liitteen IV luvussa III esitetyt käsittelymenetelmät 2–5 (hienontaminen + kuumennus), tai käsittelymenetelmä 7 (muu validoitu menetelmä), edellyttäen, että käsittelymenetelmän 7 yhteydessä on tehty lämpökäsittely kuumentamalla veri läpikotaisin vähintään 80 °C:een. Kalkkistabilointi ei ole veren käsittelyssä sallittu menetelmä. Veren hävittäminen jätevesivirrassa ei myöskään ole sallittua. Pesujen mukana jäteveeten päätyvä veri voidaan käsitellä kuten muutkin jätevedet, 6 mm:n siivilästä läpimennyt aines on jätevettä.

Lakiehdotus veren hyödyntämisestä rehuna on valmisteilla EU-tasolla ja tähän liittyvää EU-asetusta on kommenttikierroksella.

Pienteurastamoiden jätevesikartoitukset

Veri kuormittaa jätevesijärjestelmiä ja ympäristöä. Veri, jolla on korkea kiintoainepitoisuus (18 %) ja kemiallinen hapenkulutus (COD) (500 000 mg O₂/l) aiheuttaa ympäristöongelmia mm. Yhdysvalloissa, jossa muodostuu jäteverta 1,6 miljoonaa tonnia vuodessa (Del Hoyo ym. 2007).

Sivukierto-hankkeessa tehtiin jätevesikartoituksia pienteurastamoilla yleiskuvan saamiseksi jätevesien joukkoon päätyvän veren ja rasvan määristä.

Hanhiteurastamolla tehtiin teurastuspäivänä 25.11.2019 jätevesikartoitus. Jätevesinäytteitä otettiin litran jätevesinäyte varastosäiliöstä, esikäsittelysäiliöstä, prosessisäiliöstä (kuva 3.2), ja näiden lisäksi kerättiin n. 2 litraa teurastusverta. Hanhien teurastusmäärä oli näytteenottopäivänä 260 kappaletta. Näytteistä tutkittiin Luken laboratoriossa pH, sameus, kiintoaine, liukoinen ja kokonaistyyppi ja -fosfori sekä COD_{Cr}. Tuotteista tehtiin koostumusanalyysit (proteiini, rasva, kuiva-aine) (taulukko 3.4).

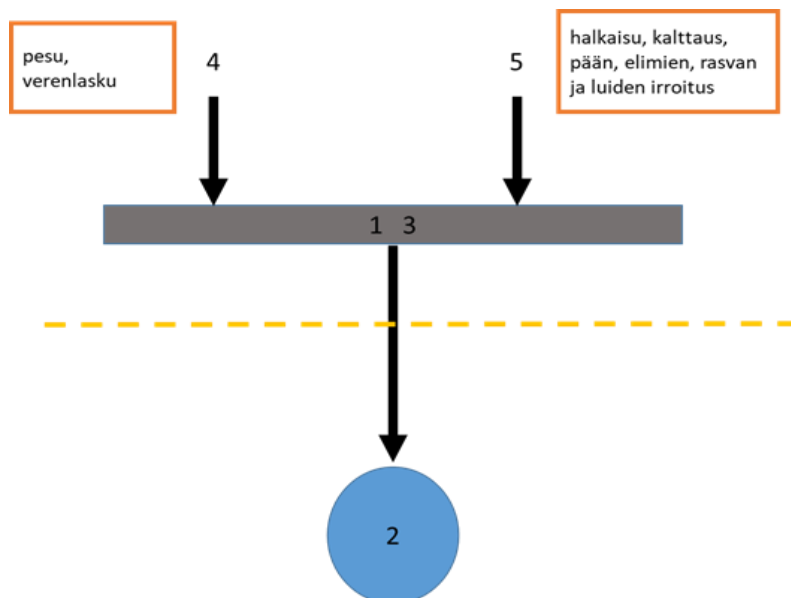


Kuva 3.2. Jätevesikaivot: esikäsittely, prosessikäsittely, varastosäiliö ja rasva.

Taulukko 3.4. Hanhiteurastamon jätevesien analyysit.

Analyysi	Jätevesinäyte					Näyte 5-6. Hanhen veri
	1. Varasto-säiliö	2. Esikäsit-telysäiliö	3. Prosessi käsittely-säiliö	4. Rasva-säiliö	1 ja 7-9. Varastosäiliö kokoomanäyte	
Kuiva-aine mg/l	900	800	5 000	138 000	2000	169 500
pH	7,4	7,6	7,2	6,6	7,3	7,4
sameus NTU	158	136	1 698	3 250	215	4 375
N % tp	0	0	0,1	0	0	1,7
P mg/kg tp	5,5	5	231	11,3	6,2	589,5
PO ₄ -P mg/kg	3,6	2,2	3	4,9	5,1	142,6
NH ₄ -N mg/kg	6,9	14,5	16,2	7,2	7,5	35,3
NO ₃ -N mg/kg tp	0	0	0,2	0,2	1,1	6,9
COD _{Cr} mg/l	650	581	3 515	31 084	1 457	246 130
Rasva % tp	0,2	0,3	0,2	6,6	0,2	0,5

Pienteurastamolla tehtiin 22.9.2020 ja 5.10.2020 jätevesikartoitukset. Jätevesinäytteitä otettiin litran näyteastioihin jätevesianalyysijä varten ulkokaivosta, jätevesikourusta ja teurastamon sisältä tulevasta kahdesta putken päästä (kuva 3.2, taulukko 3.5).



Kuva 3.2. Jätevesinäytteiden ottopaikat pienteurastamolla.

Taulukko 3.5. Pienteurastamon jätevesistä tehdyt analyysit.

Analyysi	Kouru 1 N=2	Ulkokaivo 2 N=1	Sisältä tuleva 3 N=2	Putki 1,4 N=2	Putki 2, 5 N=2	Veri N=1
kuiva-aine mg/l	1 080–1 560	2 750	1 440–3 990	1560–6 970	4750–6 390	139 000
pH	7,1–7,4	7,1	7,3–7,4	7,3–7,5	6,7–7,1	–
sameus FNU	88–220	340	70–140	110–380	430–560	–
Kok. N mg/l	91–230	300	120–500	130–860	440–770	–
P mg/l	12–24	39	13–22	8,1–59	25–26	140
PO ₄ mg/l	7,8–18	25	7,9–10	3,6–26	8,5–10	33
NH ₄ -N mg/l	65–200	230	6 7–100	27–180	52– 60	–
NO ₃ mg/l	<1	<1	<1	<1	<1	–
NO ₂ -N mg/l	0,09–0,03	0,02	0,02– 0,03	0,02–0,03	0,02– 0,04	0,27
K mg/l	0,04–0,06	0,08	0,05–0,07	0,13–0,03	0,05– 0,08	0,49
BOD ₇ mg/l	400–1 300	1 400	600–3 400	850– 4 600	4800–4 900	130 000
COD _{Cr} mg/l	770–1 900	3 300	1 200–4 800	1200–8 800	6900–8 800	220 000
Öljyt ja rasvat mg/l	12–20	-	14	20	27	160

Jätevesinäytteitä otettiin kahdesta erityyppisestä pienteurastamosta. Analyysitulosten perusteella voidaan sanoa, että on tärkeää, että teurastamon veri otetaan erilleen mahdollisimman tarkkaan, eikä sitä päästetä jätevesien sekaan. Veren kemiallisen hapenkulutuksen (COD) pitoisuudet olivat hanhen veressä 246 g/l ja naudan veressä 220 g/l. Hanhiteurastamolta eri säiliöistä otetuissa jätevesinäytteissä COD-pitoisuudet vaihtelivat välillä 581–3 515 mg/l, rasvasäiliöstä otetun näytteen pitoisuus oli 31 g/l. Pienteurastamon (nauta, sika, lammas) jätevesianalyysissä COD-pitoisuudet vaihtelivat välillä 770–8 800 mg/l. Jäteveteen päätyi ainoastaan tilojen, laitteiden ja välineiden pesuista irronnut veri. Tuotantoeläinten verestä on kerrottu laajemmin erillisessä kirjallisuusselvityksessä.

Rasva

Juustolasta poistuu useita kiloja rasvaa päivässä jäteveden mukana. Sivukierto-hankkeessa selvitettiin kahden teurastamon ja pienjuustolan jätevesien rasvapitoisuuksia ja rasvan tehokkaampaa talteenottoa. Juustolan ja teurastamoiden jätevesikaivoista ja rasvanerotuskaivoista otettiin näytteitä. Jätevesistä analysoitiin rasvapitoisuudet. Juustolasta ei saatu näytettä laitoksesta poistuvasta jätevedestä.

Hankkeessa tutkittiin tuorejuuston valmistuksen ja pienteurastamon jätevesien rasvapitoisuutta (taulukko 3.6.).

Taulukko 3.6. Jätevesien rasvapitoisuuksia kirjallisuudesta ja Sivukierto-hankkeen mittauksista.

Jätevesi	Rasvapitoisuus	Viite
Herajätevesi	0,8 g/l	Donkin 1997
Juustola	0,05–10,6 g/kg	Ergüder ym. 2001
Meijerin jätevedet	0,32–5 g/l	Britz ym. 2006
Juustolan lattiakaivovesi	1,5 – 6,5 g/kg	Sivukierto-hanke
Teurastamo	40–1 385 mg/l	Aziz ym. 2019
Pienteurastamo	12–20 mg/l	Sivukierto-hanke
Hanhiteurastamo	2–3 g/l, rasvakaivo 66 g/l	Sivukierto-hanke

Lihanjalostusteollisuudessa rasvaa pääsee jäteveeseen sekä lihan käsittelystä että varastoinnista. Rasvan määrä on erittäin riippuvainen veden lämpötilasta ja käytetyistä kemikaaleista. Pesuaineiden avulla rasva saadaan sekoittumaan veteen ja johdettua jätevesiin. Rasvakaivoissa on rasvan lisäksi paljon vettä, jopa 80 % (Nieminen 2013).

Rasvan aiheuttama orgaanisen aineen kuormitus jätevedessä on huomattava: 1 kg rasvaa aiheuttaa 3 kg:n COD-kuormituksen (Industrial Wastewater Treatment 2009).

Tyypillisiä menetelmiä rasvan erottamiseksi vedestä ovat vaahdotus ja rasvanerotuskaivon käyttö. Vaahdotuksessa jäteveden joukkoon lisätään rasvaa sitovia hiutaleita. Vaahdon pinnalle muodostunut liete voidaan kerätä pois ja hyödyntää esimerkiksi biokaasulaitoksessa. Menetelmän haittapuolena on tarvittavien kemikaalien käyttö. Menetelmä on osoittautunut tehokkaaksi erottamaan rasvaa, jäteveden rasvasta on saatu poistettua yli 90 % ja lisäksi noin 40 %:n lasku jäteveden biologisessa hapenkulutuksessa (Korsström & Lampi 2001). Rasvanerotuskaivot ovat myös todettu hyväksi tavaksi poistaa rasvaa jätevedestä.

Rasva on energiapitoista ja hyvä syöte esim. biokaasulaitokselle. Norjalaisen tutkimuksen mukaan (Andersen & Weinbach 2010) Norjassa voitaisiin rasvanerotuskaivoista kerätä rasvaa 8,2 kt vuodessa ja tästä määrästä voitaisiin valmistaa biodieseliä 6,4 kt. Erilaiset sivutuoteraaka-aineet kiinnostavat biodieselin tuotannossa, ja Suomessakin rasvanerotuskaivojen rasvaa voitaisiin mahdollisesti hyödyntää prosessien kehittyessä.

Mädätys

Biohajoavia orgaanisia aineita (hiilihydraatit, proteiinit, rasvat) voidaan käsitellä mädätysprosessissa, jossa hapettomissa olosuhteissa toimivat mikrobit hajottavat raaka-aineet pienemmiksi yhdisteiksi, kunnes lopputuotteena muodostuu biokaasua. Elintarvikeprosessien sivujakeiden biokaasupotentiaaleja on esitetty taulukossa 4.1.

Taulukko 4.1. Raaka-aineiden biokaasupotentiaaleja, kuiva-ainepitoisuudet, orgaanisen aineksen osuus (Biokaasulaskuri).

Raaka-aine	CH ₄ -potentiaali m ³ /t VS	kuiva-aine %
Hera	420	6
Rasva	800	40
Vihannesjäte	320	27
Teurasjäte	600	36

VS= hehkutushäviö

Öztürkin (2012) tutkimuksen mukaan biokaasun tuottaminen pelkästä herasta ja pelkästä verestä on hankalaa. Juustohera happamoituu anaerobisen hajotuksen aikana. Heran tai veren mädätys yhdessä lannan kanssa mahdollistaa näiden jakeiden hyödyntämisen biokaasuna (Öztürk 2012). Juustoheran biokaasupotentiaali on suuruudeltaan samaa tasoa kuin lannalla, eli 17,5–19,3 l CH₄/kg (Ergüder ym. 2001).

Verta käytetään biokaasun tuotannossa Suomessa. Lihateollisuuden sivutuotteiden metaanipotentiaalit ovat yleensä korkeita, mikä johtuu näiden materiaalien korkeasta proteiini- ja lipidipitoisuudesta (Salminen ym. 2003). Oreopoulou ja Russ (2007) mainitsevat sian veren biokaasupotentiaaliksi 1 020 Nm³/mg VSS ja naudan veren 500 Nm³/mg VSS (VSS = orgaaninen kiintoaine).

Luokan 2 veri voidaan hyödyntää biokaasutuotannossa, kun se ensin painesteriloidaan 133 °C:ssa 3 barin paineessa 20 minuutin ajan palakoon ollessa alle 50 mm. Luokan 3 eläinperäiset sivutuotteet tulee hygienisoida (70 °C, 60 min, palakoko < 12 mm) ennen syöttämistä prosessiin (EUR-Lex 2009).

Berlen (2016) tutkimuksessa kurkun varsien biokaasuprosessi käynnistyi hitaasti, mutta tuotti biokaasua pitkään ja biokaasusaanto oli hyvä. Syy tähän voi olla ligniini, jota on runsaasti kurkun varressa.

Tomaatin vihhermassan pyrolyysi

Dunlop ym. (2015) selvittivät tomaatin varsien ja lehtien pyrolysointia ja biohiilen hyödyntämistä vesiviljelyssä tomaatin kasvualustassa. Syöte sisälsi tomaatin vihhermassan lisäksi kasvatuksessa käytettävät klipsit ja narun, joita oli 7,5 % vihhermassan kuivapainosta.

Ensin varret ja lehdet ilmakeivattiin, minkä jälkeen tehtiin pyrolysointi kahdessa erässä 440–550 °C:ssa (Dunlop ym. 2015). Biohiilisaanto oli 38 %, joka on samansuuruinen kuin puusta tai siipikarjan kuivikkeista saatava biohiilisaanto. Hiili-, typpi- ja tuhkapitoisuudet olivat puun ja lannan arvojen välissä, pH lähellä lanta-biohiilen arvoja. Kaliumpitoisuus oli puolet korkeampi kuin naudan lannalla tai siipikarjan kuivikkeilla. Muurahaishappoon uutetun fosforin (FA-P) pitoisuus indikoi kasveille käyttökelpoista fosforia. Tomaatin varsista tehdyllä biohiilellä FA-P oli kaksi kertaa korkeampi kuin naudan lannasta tehdyllä biohiilellä (Wang ym. 2012). Korkeasta FA-P-pitoisuudesta voidaan päätellä, että biohiili voi olla fosforin lähde.

Tomaatin varsista ja lehdistä valmistettu biohiili soveltuu Dunlopin ym. (2015) tutkimuksen mukaan tomaatin vesiviljelyyn. Biohiilen käyttö kasvualustassa ei vaikuttanut merkittävästi kasvien kasvuun, saantoon tai tomaattien laatuun verrattuna kaupalliseen kasvualustaan tai sahanpuruun. Pyrolysoimalla tomaattikasvien varret ja lehdet biohiileksi biomassasta saadaan viljelykiertoon. Lisäksi pyrolyysissä muodostuvat synteesikaasu ja bioöljy voidaan käyttää esimerkiksi kasvihuoneen energiantarpeen täydentämiseen.

IBI:n (International Biochar Initiative Guidelines 2012) ohjeen mukaan pyrolysoitava syöte ei saa sisältää epäpuhtauksia yli 2 % kuiva-aineessa (fossiiliset öljyjohdannaiset). Kyseinen tutkimus osoitti klipsien ja narun melkein täydellisen hajoamisen ($\approx 0,5$ % biohiilen kokonaismassasta) 450 °C lämpötilassa.

Viestintätoimenpiteet Sivukierto 1.10.2018 – 31.12.2020.

Mitä	Milloin ja missä	Kohderyhmä	Keinot ja kanavat
Hankkeen aloituspalaveri	10.10.2019	YM, Luke, HY	Viikki/skype
Kärkihanketapaaminen ja koulutus	30.10.2018 Helsinki	YM, muut hanketoimijat	Hankeviestinnän esittelyä
Tiedot hankkeesta	Marraskuu 2018	Kaikki kiinnostuneet	Luken nettisivut www.luke.fi/sivukierto
Nettisivujen laatiminen hankkeelle	Marraskuu 2018	Kaikki	https://sivukierto.wixsite.com/sivukierto
Ohjausryhmän kokous	26.11.2018	Ohjausryhmä	Viikki/skype
Kärkihankekiertue	10.12.2018 Seinäjohti	Kaikki kiinnostuneet	Posterit, esite. Tieto yrityksille sähköpostilla
Yrityskäynti	Tammi 2019	Arctic Milk	Yrityskäynti
Yrityskäynti	27.2.2019	Aurinkotarhat	Yrityskäynti
Lehtijuttu Aitoja makuja 1/2019	15.3.2019	Kaikki kiinnostuneet	Netti
Ohjausryhmän kokous	4.6.2019	Ohjausryhmä	Viikki, skype
Yrityskäynti	17.6.2019	Vihannes Vinnikainen	Yrityskäynti
Pienmeijeripäivät	15.8.2019	Pienmeijerit, maidontuottajat, kehittäjät	Esitys päivillä
Caia: Kymenlaakson elintarviketalouden sivujakeet hyönteisten kasvatukseen	17.9.2019	Yritykset, toimijat	Esitys tilaisuudessa
Työpaja	7.11.2019 Koskenkorva	Kaikki kiinnostuneet	Sähköposti, paikallisten toimijoiden tiedonvälitys
Ohjausryhmän kokous	10.12.2019	Ohjausryhmä	Skype
Maataloustieteen päivät	8.-9.1.2020 Viikki	Kaikki kiinnostuneet	Posterit esittely ja abstraktit nettijulkaisussa
Ohjausryhmän kokous	23.4.2020	ohjausryhmä	Hankkeen edistymisen
Ohjausryhmän kokous	8.10.2020	ohjausryhmä	Teams
Raki-hankkeiden tulospöytäkirja	2.11.2020	opiskelijat, hanketoimijat, sidosryhmät	Esitys Sivukierrosta
Lehtiartikkeli veren hyödyntämisestä	Elintarvike ja terveys 6/2020	kaikki kiinnostuneet	Lehtiartikkeli
Ohjausryhmän kokous	3.12.2020	ohjausryhmä	Teams
Loppuraportti	18.12.2020	Kaikki kiinnostuneet	nettiin
Loppuseminaari	suunnitelma maaliskuu 2021	kaikki kiinnostuneet	Todennäköisesti webinaari

Lähteet

Andersen, O & Weinbach, J.-E. 2010. Residual animal fat and fish for biodiesel production. Potentials in Norway. Biomass and Bioenergy 34, 1183-1188.

Aziz, A., Basheer, F., Sengar, A., Irfanullah, Ullah Khan, S. & Haq Farooni, I. 2019. Biological wastewater treatment (anaerobic-aerobic) technologies for safe discharge of treated slaughterhouse and meat processing wastewater. The Science of the Total Environment 686, 681-708.

Biokaasulaskuri <https://maatalousinfo.luke.fi/fi/laskurit/biogas>

Berle, E. 2016. Methane production through anaerobic digestion of various organic substrates. Opinnäytetyö. Ympäristötekniikka. Yrkeshögskolan Novia. http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/107351/thesis_EB.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Brazzale, P., Bourbon, B., Barrucand, P., Fenelon, M., Guercini, S. & Tiarca, R. 2019. Wastewater Treatment in dairy Processing. Bulletin of the IDF No.500, 67 s. <https://store.fil-idf.org/product/bulletin-of-the-idf-n-500-2019-wasterwater-treatment-in-dairy-processing/>

Britz, J.T., van Schalwyk, C. & Hung, Y.T. 2006. Treatment of dairy processing wastewaters. In: Wang LK, Hung YT, Lo HH & Yapijakis, C. (Toim.) Waste treatment in the food processing industry. Boca Raton, FL, USA: CRC Press; 2006. pp.1–25.

Bylund, G. 2003. Dairy processing handbook. Tetra Pak Processing Systems AB, Lund, Sweden.

Carvalho, F., Prazeres, A.R. & Rivas, J. 2013. Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. Review. Science of The Total Environment 445–446, 385–396

Del Hoyo, P., Rendueles, M. & Diaz, M. 2008. Effect of processing on functional properties of animal blood plasma. Meat Science 78 (4), 522–528.

Donkin, J. 1997. Bulking in aerobic biological systems treating dairy processing wastewaters. International Journal of Dairy Technology 50, 67–72.

Dunlop, S.J., Camps Arbestain, M., Bishop, P.A. & Wargent, J.J. 2015. Closing the loop: Use of biochar produced from tomato crop green waste as a substrate for soilless, hydroponic tomato production. Horticultural Science 50 (10), 1572-1581.

Ergüder, T. H., Tezel, U., Güven, E. & Demirer G. N. 2001. Anaerobic biotransformation and methane generation potential of cheese whey in batch and UASB reactors. Waste Management 21, 643–650.

Eskola, H. 2013. Meijeriprosessit jäteveden kuormittajana: Valio Oy:n Joensuun tehtaan meijerilinjän jäteveden COD kuorman taustaselvitys. HAMK, opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2013121020693>

European Parliament and Council, Commission Regulation (EU) No. 142/2011, Implementing Regulation (EC) No. 1069/2009 Laying Down Health Rules as Regards Animal By-products and Derived Products Not Intended for Human Consumption and Implementing Council Directive 97/78/EC, (2011).

Eurostat 2014, <https://ec.europa.eu/eurostat>. Haettu 5.11. 2020.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009, muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden terveyssäännöistä sekä asetuksen (EY)

N:o 1774/2002 kumoamisesta (sivutuoteasetus). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32009R1069>

Glenn, D. 2015. Blood based proteins: A market review, prepared by Dr Dianne Glenn for MLA.

Gésan-Guiziou, G. 2013. Integrated membrane operations in whey processing. Teoksessa Cassano, A. & Drioli, E. (toim.) Integrated membrane operations: In the food production. Tubingen, DEU: Walter de Gruyter. 133–146.

Gorbatov, V.M. 1988. Collection and utilization of blood and blood proteins for edible purposes in the USSR. In: Pearson, A.M., Dutson, T.R. (Eds.), Edible meat by-products, advances in meat research, vol. 5. Elsevier Science Publishers Ltd, London, New York, pp. 167-195.

Hiisvirta, L. 1976. Maidonjalostusteollisuuden jätevesikuormitus ja jätevesien käsittelymahdollisuudet. YVY Tutkimus 7.

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/229039/YVY Tutkimus 7.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/229039/YVY_Tutkimus_7.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Hughes, P., Risner, D. & Meunier Goddik, L. 2019. Whey to vodka. Kirjassa: (Toim. Gigli, I.) Whey - Biological properties and alternative uses. IntechOpen. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.81679>

IBI 2012. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil. International Biochar Initiative. 1 Dec. 2013.

Industrial wastewater treatment. 2009. IWA WaterWiki –Information re-course & hub for the global water community.

<http://www.iwawaterwiki.org/xwiki/bin/view/Articles/IndustrialWastewaterTreatment>

Kilara, A. & Vaghela, M.N. 2004. Whey proteins. Kirjassa: Proteins in food processing (Toim. Yada, R.Y.) Woodhead Publishing, s. 72-99 doi.org/10.1533/9781855738379.1.72

Kolev Slavov, A. 2017. General characteristics and treatment possibilities of dairy wastewater – A review. Food Technology and Biotechnology 55 (1), 14-28. DOI: 10.17113/ftb.55.01.17.4520

Korsström, E. & Lampi, M. 2001. Best Available Techniques (BAT) for the Nordic Dairy Industry. Saatavissa: https://docuri.com/queue/best-available-techniques_59c1dbfaf581710b28686905_pdf?queue_id=5fcd8abe560e9c5e5c8b46a7

Nieminen, A. 2013. Kustannustehokas ja tasalaatuinen elintarviketeollisuuden jätevesi. SAMK. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/58472/Lopputya%20valmis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Oreopoulou, V. & Russ, W. 2007. Utilization of by-products and treatment of waste in the food industry. Springer, New York, p 322.

Ramchandran, L. & Vasilevic, T. 2012. Whey processing. Teoksessa: Tamime, A.Y. (toim.) Society of Dairy Technology series: Membrane processing: Dairy and beverage applications. Somerset, NJ, USA: John Wiley & Sons. 193–207.

Rehulaki 86/2008. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080086>

Riera Rodríguez, F.A., Fernández Martínez, A. & Muro Urista, C. 2014. Characteristics and composition of sweet and acid wheys. Teoksessa: Gorawala, P. (toim.) Agricultural Research Updates, Volume 8. Hauppauge, NY, USA: Nova Science Publishers, Inc.

- Salminen E., Einola J. & Rintala J. 2003. The methane production of poultry slaughtering residues and effects of pre-treatments on the methane production of poultry feather. *Environmental Technology* 24, 1079–1086.
- Tampio, E., Vainio, M., Virkkunen, E., Rahtola, M. & Heinonen, S. 2018. Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille. Luonnonvarakeskus, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37, 76 s.
- Tietohaarukka 2015. Tilastotietoa Elintarvikealasta. Ruokatieto Yhdistys ry.
- Toldrà, M., Lynch, S.A., Coutere, R. & Àlvarez, C. 2019. Blood proteins as functional ingredients. In: Galanakis, C.M. (ed) *Sustainable meat production and processing* ed. Academic Press. London. U.K. p. 261
- Valio 2019. Kuinka hera muuttui hylkiöstä halutuksi? Viitattu 8.12.2020. <https://www.valio.fi/ruoka/kuinka-hera-muuttui-hylkiosta-halutuksi/>
- Välimaa A-L., Tuunainen, P., Siljander-Rasi, H. & Virtanen, E. 2017. Rehua perunan käsittelyssä ja juustonvalmistuksessa syntyvistä sivujakeista. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 29, 44 s. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/539033/lukeluobio_29_2017.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Vänninen, M. 2009. Tyypillisten biomassamateriaalien kemiallinen koostumus, Jyväskylän yliopisto. https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/21265/1/URN_NBN_fi_jyu-200906261753.pdf
- Wang, T., Camps-Arbestain, M., Hedley, M. & Bishop, P. 2012. Predicting phosphorus bioavailability from high-ash biochars. *Plant Soil* 357, 173–187.
- Öztürk, B. 2012. Evaluation of biogas production yields of different waste materials. *Earth Science Research* 2 (1), 165–174.