



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 29/2017

Rehua perunan käsittelyssä ja juustonvalmistuksessa syntyvistä sivujakeista

Anna-Liisa Välimaa, Petra Tuunainen, Hilikka Siljander-Rasi
ja Elina Virtanen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 29/2017

Rehua perunan käsittelyssä ja juustonvalmistuksessa syntyvistä sivujakeista

Anna-Liisa Välimaa, Petra Tuunainen, Hilikka Siljander-Rasi
ja Elina Virtanen

POHJOIS-POHJANMAAN LIITTO
Council of Oulu Region



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



ISBN: 978-952-326-404-5 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-405-2 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-405-2>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Anna-Liisa Välimaa, Petra Tuunainen, Hilikka Siljander-Rasi ja Elina Virtanen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2017

Julkaisuvuosi: 2017

Kannen kuva: Perunankuorijakeen ja heran fermentointikoe laboratoriomittakaavassa. Kuva: Anna-Liisa Välimaa, Luke.

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Anna-Liisa Välimaa¹, Petra Tuunainen², Hilkka Siljander-Rasi³, Elina Virtanen¹

¹ Luonnonvarakeskus, Paavo Havaksen tie 3, 90014 Oulun yliopisto

² Luonnonvarakeskus, Halolantie 31 A, 71750 Maaninka

³ Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

Perunan käsittelyssä ja juustonvalmistuksessa syntyvien sivujakeiden hyödyntämisessä rehuksi on tehostamisen varaa. Viljaa ja usein kalliita valkuaisrehuja korvaaville rehuosastoille on kysyntää erityisesti sikataloudessa. Sivujakeiden hyödyntämiseen tarvitaan uusia vaihtoehtoja, kuten kustannustehokkaita säilöntämenetelmiä. Esimerkiksi perunan sivuvirtojen käyttö sikojen rehuksi edellyttää prosessointia, jotta haitta-aineet saadaan poistettua, rehuaineiden koostumus optimoitua ja säilyvyyttä parannettua.

Tämä raportti sisältää kirjallisuuskatsauksen perunan ja sen jalostusprosesseissa syntyneiden sivujakeiden, kuten perunapulpan ja perunarehun sekä juustoheran käyttökelpoisuudesta ja rehuarvoa parantavista käsittelymenetelmistä sikojen, siipikarjan ja turkiseläinten ravitsemuksessa. Raportissa esitetään myös tulokset sivujakeiden fermentointitestauksista, jotka toteutettiin laboratorio- ja pilot -mittakaavassa.

Kirjallisuuden perusteella monilla perunan sivujakeilla olisi käyttömahdollisuuksia erityisesti sikojen, mutta myös siipikarjan ruokinnassa. Bioprosessointi, kuten hallittu fermentointi mikrobien avulla, voisi parantaa säilyvyyttä ja rehuarvoa. Omien testausten perusteella maitohappobakteerikantojen lisääminen sivujakeisiin ja niiden seoksiin näyttäisi nopeuttavan pH:n laskua ja hidastavan sokeri- ja valkuaispitoisuuden pienenemistä viiden päivän säilönnän aikana. Mikrobymppien vaikutus liemirehun tärkkelys- ja valkuaispitoisuuteen oli vähäinen. Mikrobymppien käytön kannalta olisi eduksi, jos liemien kuiva-ainepitoisuutta pystyttäisiin vakioimaan.

Selvitys on osa Perunajäte arvotuotteiksi -hanketta. Hanketta koordinoi Oulun yliopisto ja osatoimittajana oli Luonnonvarakeskus. Hankkeen päärahoittajana oli Pohjois-Pohjanmaan liitto, Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR), Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020 Suomen rakennerahasto-ohjelmasta. Osarahoittajina olivat BioGTS Oy, Jahotec Oy, Vaalan Juustola Oy ja Tyrnävän kunta.

Asiasanat: Peruna, hera, sivutuotteet, rehu, fermentointi, sika, siipikarja, turkiseläimet

Sisällys

1. Johdanto	6
2. Perunan ja sen sivujakeiden käyttökelpoisuus yksimahaisten kotieläinten ravitsemuksessa	8
2.1. Perunan tuotannossa ja prosessoinnissa syntyvät sivujakeet	8
2.2. Perunan ravintoaineiden käyttökelpoisuus sikojen ruokinnassa.....	9
2.2.1. Täkkelys	10
2.2.2. Valkuainen.....	11
2.2.3. Kivennäisaineet	12
2.2.4. Haitta-aineet	13
2.3. Perunan sivujakeiden käyttö sikojen ruokinnassa	13
2.3.1. Kuorimassa	13
2.3.2. Perunapulppa	13
2.3.3. Perunaproteiini	14
2.4. Peruna turkiseläinten ruokinnassa	14
2.5. Peruna siipikarjan ruokinnassa	15
3. Perunan sivujakeiden prosessointimenetelmät rehuarvon parantamiseksi.....	17
3.1. Fysikaaliset prosessointimenetelmät.....	17
3.2. Fysikaaliset säilöntämenetelmät	17
3.3. Biologiset menetelmät.....	18
3.3.1. Fermentointi luontaisen mikrobiston avulla	18
3.3.2. Fermentointi maitohappobakteerien avulla	20
3.3.3. Fermentointi hiivojen avulla	20
3.3.4. Fermentointi homeiden avulla.....	21
3.3.5. Fermentointi bakteerien, hiivojen ja homeiden yhdistelmällä	22
3.4. Entsymaattinen prosessointi	23
4. Tuoreen heran prosessointimenetelmiä rehuarvon parantamiseksi	24
5. Perunan ja heran sivujakeiden fermentointi: esiselvitys.....	26
5.1. Tausta ja tavoite.....	26
5.2. Aineisto ja menetelmät.....	27
5.2.1. Mikrobien valinta	27
5.2.2. Raaka-aineet ja fermentointiolosuhteet	27
5.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu	28
5.3.1. Fermentoinnin vaikutukset käymislaatuun	28
5.3.2. Fermentoinnin vaikutus mikrobiologiseen laatuun	30
5.3.3. Fermentoinnin vaikutus aistinvaraiseen laatuun	32
5.3.4. Fermentoinnin vaikutus proteiini-, täkkelys- ja sokeripitoisuuteen	32

5.4. Johtopäätökset ja soveltuvuus käytäntöön	35
6. Viitteet	37
Liitteet	40

1. Johdanto

Peruna (*Solanum tuberosum* L.) on perinteinen rehu sikojen ruokinnassa, mutta perunan viljely rehuksi on nykyään harvinaista. Vielä 1970-luvulla perunasadosta käytettiin rehuksi 45–60 % Saksassa ja Puolassa (Whittemore 1977). Kokonaisen perunan käsittely ja käyttö suurissa sikalaysiköissä ja automatisoiduissa ruokintaketjuissa on työlästä (Siljander-Rasi & Valaja 2008). Nykyään rehuksi käytetään lähinnä perunan teollisen prosessoinnin sivujakeita ja satunnaisesti ruokaperunan ylijäämä-eriä.

Pohjois-Pohjanmaalla tuotetaan siemenperunaa High Grade -alueella noin 720 ha:lla, kokonaisuutena noin 1 100 ha:lla. Ruokaperunan tuotanto Pohjois-Pohjanmaalla on 2 900 ha:lla (Luke tilastotietokanta 2015). Alueella toimivat jatkojalostusyrietykset ovat pakkaamoita (useimmiten tuotantotilojen yhteydessä), kuorimoita sekä perunajalostetehtaita, joiden tuottama sivujakeiden määrä on noin 17 200 tonnia vuodessa (Ahokas ym. 2012).

Kuorimoissa ja pakkaamoissa syntyvät sivujakeet voidaan erotella seuraaviin jakeisiin: multavesi, joka muodostuu pesussa ja/tai kiven erottimessa, kuorimassa, perunan paloittelu- ja lajittelutähteet sekä tärkkelys- ja solunestevesi, jota syntyy tuotteita huuhdottaessa ja pestäessä tuotteesta tarttunutta massaa laitteista (Helsky ym. 2006). Kolme viimeksi mainittua jaetta sisältävät perunan arvokkaita aineosia, hiilihydraatteja, valkuaista, kuitua, ja kivennäisaineita, jotka voidaan hyödyntää rehun raaka-aineina. Sivujakeiden rehukäyttöä rajoittaa mm. solunesteen suuri vesipitoisuus, hankala käsiteltävyys, nopea pilaantuminen, perunan suuri kaliumpitoisuus tai muut haitta-aineet.

Heraa syntyy juuston, kaseiinin ja rahkan valmistuksen sivutuotteena. Suomessa heraa tuotettiin juuston tuotantomäärästä arvioiden 800 000–900 000 miljoonaa litraa vuonna 2014 (Tietohaarukka 2015). Euroopan heratuoteyhdistyksen (European Whey Products Association, EWPA) mukaan ainoastaan 40 % EU:n alueella tuotetusta herasta prosessoidaan elintarvike- tai rehukäyttöön. Muun osan varsinkin pienet- ja keskisuuret tuottajat laskevat yhdyskuntajätteen sekaan. Nestemäisenä jätteenä heran käsittely aiheuttaa välttämättömiä kustannuksia noin 4 senttiä/litra.

(http://cordis.europa.eu/project/rcn/110695_en.html)

Sivujakeiden yhä tehokkaampi käyttö rehuna voisi edistää eri tuotannonalojen yhteistyötä, parantaa valkuaisomavaraisuutta, pienentää rehukustannuksia ja tehostaa ravinteiden kierrätystä sekä ja parantaa elinkeinojen kannattavuutta sekä kansallisesti että alueellisesti. Hyödynnettäviä sivujakeita tulisi olla riittävästi saatavilla, niiden pitäisi olla rehuksi soveltuvia, käytettävissä tulisi olla kustannustehokkaat teknologiat rehuaineen prosessointiin ja toiminnan tulisi hyödyttää kaikkia osapuolia. Uusille, kallista viljaa ja valkuaisrehuja korvaaville rehukomponenteille on kysyntää erityisesti sikataloudessa, jossa rehukustannus muodostaa 56 % sianlihan tuotantokustannuksista. Myös sikojen ja siipikarjan luomuruokintaan tarvitaan uusia valkuaisrehuvaihtoehtoja. Perunaan erikoistuneiden tuotantotilojen tai jatkojalostajien kannalta sivujakeiden uudet käyttökohteet voisivat lisätä kannattavuutta. Erilaisia sivuvirtoja yhdistelemällä voitaisiin vähentää elintarviketuotannon kausiluonteisesta tuotannosta syntyvää sivuvirtojen tarjonnan vaihtelua. Elintarviketeollisuuden sivujakeiden hyödyntämiseen tarvitaan uusia vaihtoehtoja, kuten kustannustehokkaita säilöntämenetelmiä. Esimerkiksi perunan sivuvirtojen käyttö sikojen rehuksi edellyttää prosessointia, jotta haitta-aineet saadaan poistettua, rehuaineiden koostumus optimoitua ja säilyvyyttä parannettua.

Tämä raportti sisältää kirjallisuuselivityksen perunan ja sen jalostusprosesseissa syntyneiden sivujakeiden, kuten perunapulpan ja perunarehun sekä juuston valmistuksen sivujakeena syntyvän heran koostumuksesta ja niiden käyttökelpoisuudesta yksimahaisten kotieläinten ravitsemuksessa. Lisäksi käsitellään näiden sivujakeiden prosessointimenetelmiä niiden rehuarvon parantamiseksi yksimahaisten kotieläinten ruokinnassa. Raportissa esitetään myös tulokset sivujakeiden fermentointitesteistä, jotka toteutettiin laboratorio- ja pilot -mittakaavassa. Tavoitteena on antaa lisätietoa peruna- ja herasivuvirtojen hyödyntämisestä rehukäyttöön. Yleistason tavoitteena on tehostaa eri tuotannonalojen kannattavuutta ja kilpailukykyä sekä yhteistyötä.

Selvitys on osa Perunajäte arvotuotteiksi -hanketta. Hanketta koordinoi Oulun yliopisto ja osateuttajana oli Luonnonvarakeskus. Hankkeen päärahoittajana oli Pohjois-Pohjanmaan liitto, Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR), Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020 Suomen rakennerahasto-ohjelmasta. Osarahojittajina olivat BioGTS Oy, Jahotec Oy, Vaalan Juustola Oy ja Tyrnävän kunta.

2. Perunan ja sen sivujakeiden käyttökelpoisuus yksimahaisten kotieläinten ravitsemuksessa

2.1. Perunan tuotannossa ja prosessoinnissa syntyvät sivujakeet

Perunan tuotannossa ja jatkojalostuksessa syntyy päätuotteiden ohella runsaasti sivujakeita (Pääkkönen ym. 2004, Ahokas ym. 2012). Perunan kuorinnassa syntyy prosessilaitteistojen huuhtelu- ja pesuvesiä, jotka sisältävät kuorimassaa ja solunestettä. Kuorintaprosessien sivujakeita ovat multaliete (muodostuu pesussa ja/tai mullan erottimessa), kuorimassa (puhdasta perunaa) ja tärkkelys- ja solunestevesi (tuotteen huuhtomisessa sekä laitteisiin pestäessä tarttunut massa). Lisäksi muodostuu jätevetä muun muassa tilojen ja laitteiden pesusta. Paloittelussa syntyy myös lajittelu- ja paloittelutähteitä. Pakkaamoiden kauppakunnostusprosessissa lajittelutähteinä on epämuotoisia, pilaantuneita sekä ali- tai ylimittäisiä perunoita. Sivujaemassaa syntyy kuorimoissa jopa 50–100 % kuoritun tuotteen määrästä kuorintatavasta riippuen. Kuorimassan kuiva-ainepitoisuus on 257 g/kg ja se sisältää 58 g/kg raakavalkuaista ja 91–226 g/kg tärkkelystä kuiva-aineessa (ka). Massassa on runsaasti kaliumia (20 g/kg ka) (Helsky ym. 2006). Kuorimassan kuiva-ainepitoisuus voi vaihdella suuresti; Lehto ym. (2007) tutkimuksessa kuiva-ainetta oli vain 85 g/kg. Perunankuorijakeen kemiallinen koostumus on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Perunankuorijakeen koostumus Hälinen (2005) mukaan.

	Perunankuorijae
Kuiva-aine, g/kg	175
Kuiva-aineessa, g/kg	
Raakavalkuainen	88
Raakakuitu	51
Raakarasva	5
Typettömät uuteaineet	800
Tuhka	56
Kalsium (Ca)	<0,8
Fosfori (P)	1,7
Magnesium (Mg)	1,2
Kalium (K)	25
Natrium (Na)	0,24
Kuiva-aineessa, mg/kg	
Kupari (Cu)	9,8
Mangaani (Mn)	15
Sinkki (Zn)	23
Rauta (Fe)	110

Perunarehu on dekantterilingolla tai kartioseulalla noin 13–18 %:n kuiva-ainepitoisuuteen kuivattua perunakuitua, joka säilöo itsensä maitohappokäymisen avulla. Kuidun lisäksi perunarehu sisältää proteiinia, jonka pitoisuuteen vaikuttaa mm. valmistusprosessi: dekantteriprosessissa kuitu pestään vedellä ja tasosuodinprosessissa solunesteellä (Pääkkönen ym. 2004) (taulukko 2).

Taulukko 2. Perunarehun ravinnepitoisuuksia tasosuodinprosessia käyttävällä tuotantolaitoksella (Pääkkönen ym. 2004).

	Perunarehu
Kuiva-aine, g/kg	160
Kuiva-aineessa, g/kg	
Kokonaistyyppi	15,0
Liukoinen tyyppi	6,3
Kokonaisfosfori	2,2
Kalium	35,6

Keskiarvo vuodelta 2001 (n=7)

Tärkkelyksen tuotannossa syntyvä soluneste sisältää valtaosan perunan liukoisesta valkuaisesta. Solunesteestä saostetun perunaproteiinin kuiva-aine sisältää valkuaista 650–850 g/kg, lysiniä 56–81 g/kg, metioniinia + kystiiniä 27–34 g/kg ja treoniinia 42–61 g/kg (Siljander-Rasi & Valaja 2008, Hackl ym. 1996).

Perunapulpaksi kutsutaan tärkkelyksen valmistusprosessin jätettä, joka syntyy kun perunakuitua seulonnan ja kalkkilisäyksen jälkeen kuivataan suotopuristimella noin 24–27 %:n kuiva-ainepitoisuuteen (Pääkkönen ym. 2004).

2.2. Perunan ravintoaineiden käyttökelpoisuus sikojen ruokinnassa

Kokonaisen perunan käsittely ja käyttö suurissa sikalayksiköissä ja automatisoiduissa ruokintaketjuissa on työlästä (Siljander-Rasi & Valaja 2008). Nykyisin sikojen rehuksi käytetään lähinnä perunavalkuaista ja muut sivujakeet käytetään yleensä märehitjoiden ruokintaan.

Raaka peruna maistaa sialle huonosti, ja suuri osa sen ravintoaineista sulaa paksusuolessa. Yhden ohrakilon korvaamiseen tarvitaan noin 6 kg raakaa perunaa. Sitä voi käyttää ainoastaan lihasikojen loppukasvatuksessa (25 % seoksen ka:sta) tai tiineille emakoille (50 % seoksen ka:sta). Keitetyllä perunalla ruokittaessa noin 4 kg perunaa vastaa yhtä ohrakiloa. Nuorilla sioilla runsaan perunaruokinnan täyttävyyttä voi huonontaa energian saantia. Lihasioille ja tiineille emakoille perunaa voi antaa noin puolet rehun ka:sta (4–6 kg/d). Imettävälle emakolle keitettyä perunaa voi antaa korkeintaan 5–7 kg päivässä. Kuivattuja, kypsennettyjä perunahiutaleita voi käyttää 50–60 % rehuseoksessa. Kalliin hinnan vuoksi käyttö rajoittuu porsasrehuihin (Edwards & Livingstone 1990).

Kuivatun perunan ja perunarehun koostumus ja rehuarvo sioilla ohraan verrattuna on esitetty taulukossa 3. Perunassa ja etenkin perunarehussa raakavalkuaispitoisuus on selvästi pienempi kuin yleisesti sianrehuissa käytetyssä ohraassa. Kuivatussa perunarehussa raakakuitu-, NDF, ADF ja ADL-kuitupitoisuudet ovat suurempia kuin ohraassa. Kuivatussa perunarehussa on lähes 40 % tärkkelystä, mutta valkuaista ja aminohappoja on niukasti.

Taulukko 3. Perunatuotteiden ravintoainekoostumus ja rehuarvot sioille ohraan verrattuna (EvaPig®).

		Peruna kuivattu	Perunarehu tuore	Perunarehu kuivattu	Ohra
Kuiva-aine	%	89,30	17,60	87,40	86,70
Tuhka	%	5,00	1,25	3,15	2,25
Raakavalkuainen	%	8,84	2,23	4,62	10,08
Raakarasva	%	0,36	0,23	0,35	1,82
Raakakuitu	%	2,34	0,82	15,92	4,55
NDF	%	7,86	2,04	25,96	18,73
ADF	%	3,39	1,06	18,00	5,46
ADL	%	0,89	0,28	5,07	0,95
Tärkkelys	%	65,46	8,27	37,76	52,19
Sokerit	%	1,88	0,37	1,84	2,17
Kalsium	%	0,11	0,03	0,54	0,07
Fosfori	%	0,21	0,04	0,13	0,34
Lysiini	%	0,39	0,12	0,06	0,38
Treoniini	%	0,30	0,09	0,06	0,35
Metioniini	%	0,12	0,04	0,03	0,17
Kystiini	%	0,12	0,03	0,06	0,23
Tryptofaani	%	0,07	0,02	0,02	0,12
Valiini	%	0,42	0,12	0,13	0,52
Nettoenergia, kasvava sika	MJ/kg	10,65	1,85	7,72	9,53
Nettoenergia, aikuinen sika	MJ/kg	10,74	1,90	8,20	9,73
sulava lysini	%	0,30	0,09	0,05	0,29
sulava treoniini	%	0,23	0,07	0,05	0,26
sulava metioniini	%	0,10	0,03	0,02	0,15

2.2.1. Tärkkelys

Rehun hiilihydraateista tärkkelys on tärkein energianlähde sioille. Raa'an perunan tärkkelyksestä suurin osa on ohutsuolessa sulamatonta tärkkelystä. Perunan tärkkelyksen molekyyli rakenne estää entsyymejä hajottamasta sitä ohutsuolessa: tärkkelysmolekyylit ovat peittyneet lipidi- ja proteiini-komplekseja sisältävällä kalvolla ja ne ovat melko suurikokoisia ja pallomaisia verrattuna esimerkiksi viljojen tai maissin tärkkelykseen (Lee ym. 2011).

Sulamaton tärkkelys ei hajoa ohutsuolessa entsyymien vaikutuksesta, vaan fermentoituu suoliston mikrobien vaikutuksesta paksusuolessa (Bakker ym. 1998). Sulamaton tärkkelys estää myös valkuaisen, rasvan, energian ja kivennäisaineiden imeytymistä ruuansulatuskanavassa ja pienentää näin ollen koko rehun ohutsuoli- ja kokonaissulavuutta. Myös rasvan ja valkuaisen mikrobihajotus suurenee. Paksusuolen paino nousee ja ulosteen kokonaismäärä kasvaa, kun rehussa on paljon sulamatonta tärkkelystä (Martinez-Puig ym. 2003).

Martinez-Puig ym. (2003) käyttivät kokeessaan sulamattoman tärkkelyksen lähteenä peruna-tärkkelystä ja maissitärkkelystä. Perunatärkkelyksen antaminen sioille lisäsi sulamattoman tärkkelyksen määrää paksusuolessa. Maissitärkkelyksestä suurempi osa sulii jo ohutsuolessa. Suoliston mikrobifermentaatioissa syntyy sulamattomasta tärkkelyksestä lähinnä lyhytketjuisia rasvahappoja, kuten

etikkahappoa, propionihappoa ja voi-happoa, jotka imeytyvät suolistosta sian verenkiertoon (Bakker ym. 1998).

Paljon sulamatonta tärkkelystä sisältävillä rehuaineilla on matala energiapitoisuus, joten siat voivat syödä niitä määrällisesti enemmän, mikä esimerkiksi voi vähentää rajoitetusta ruokinnasta kärsivien emakkojen stereotyyppisen käyttäytymisen määrää ja lihasikojen aktiivisuutta. Sulamaton tärkkelys estää myös mahahaavan ilmentymistä ja parantaa suolistoterveyttä ja sen mikrobiflooraa. Sulamattoman tärkkelyksen mikrobifermentointi myös laskee suoliston pH:ta, jolloin patogeenit eivät pääse lisääntymään suolistossa niin helposti. Myös sian ulosteen tyyden koostumus paranee, kun fermentoinnin myötä tyydestä muodostuu enemmän stabiileja bakteeriproteiineja kuin vapaata tyypeä ulosteeseen.

Puriinipitoisuutta käytetään mikrobikäymisen merkinä märehittäjillä tehdyissä tutkimuksissa. Martinez-Puig ym. (2003) kokeessa mitattiin sikojen ulosteen puriinipitoisuutta ja huomattiin, että perunatärkkelyksellä ruokittujen sikojen ulosteessa oli korkeammat puriinipitoisuudet kuin maissi-tärkkelystä saaneilla. Samanaikaisesti ulosteessa olevan tyyden määrä nousi ja virtsan tyyppipitoisuus laski. Sulamaton tärkkelys voi ilmeisesti vähentää ureasynteesiä ja eritystä.

Sulamattoman tärkkelyksen syöttämisellä sioille on havaittu myös edullisia vaikutuksia. Perunatärkkelystä eli perunajauhoa ei yleensä käytetä Suomessa sikojen rehuseoksissa. Perunatärkkelystä käytetään jonkin verran vieroitusvaiheessa porsaiden ripulin ennaltaehkäisyssä.

Perunatärkkelyksen fermentaatiossa suolistossa syntyvä voi-happo vähentää suolen solujen kuolemista ja solujätteen määrää ja sitä kautta myös skatolin muodostusta (Andersson ym. 2005). Karjut yleensä kastroidaan, jotta niiden lihasta poistuisi ns. karjun haju. Karjun hajun lihaan aiheuttaa rasvakudoksessa oleva skatoli, joka syntyy paksusuolella bakteerien avulla tryptofaanista. Skatolin tuotanto vähenee, jos sika saa sulamatonta hiilihydraatteja, jotka fermentoituvat paksusuolella. Sulamaton tärkkelys muuttaa todennäköisesti suoliston mikrobiflooraa ja sen fermentointikykyä ja lyhentää aikaa, missä rehu kulkeutuu suoliston läpi, jolloin skatolia mahdollisesti ehtii imeytyä vähemmän. Andersson ym. (2005) tutkimuksessa perunatärkkelyksen lisääminen rehuun vähensi skatolin määrää rasvakudoksessa kastroimattomilla karjuilla. Andersson ym. (2005) eivät havainneet perunatärkkelyksen syöttämisessä negatiivista vaikutusta lihan laatuun, mutta kudoksen skatolipitoisuus väheni selvästi. Pauly ym. (2008) havaitsivat myös, että syöttämällä raakaa perunatärkkelystä viikkoa ennen teurastusta karjujen kudoksen skatolipitoisuus pieneni merkitsevästi. Veren skatolipitoisuuteen tärkkelyksen syöttämisellä ei ollut vaikutusta. Lyhytaikainen ruokinta perunatärkkelyksellä ei vaikuttanut karjujen lihan laatuun tai tuotantotuloksiin.

Lihasioilla ruokinta 30 % perunatärkkelystä sisältävällä rehulla on vähentänyt epämiellyttävää hajua aiheuttavan skatolin kertymistä silavaan myös Losel ym. (2006) tutkimuksessa ja skatolin ja indolin määrää lietelannassa Willig ym. (2005) tutkimuksessa tuotantotulosten huonontumatta. Sulamatonta tärkkelystä sisältävien rehuaineiden, kuten raa'an perunatärkkelyksen, syöttäminen voisi näin ollen vähentää karjun makua lihassa ja näin edesauttaa kastroimattomien karjujen kasvattamisessa ja edistää eläinten hyvinvointia.

2.2.2. Valkuainen

Perunan valkuainen sopii aminohappokoostumukseltaan hyvin sikojen ruokintaan. Valkuaisessa on lähes yhtä paljon lysiniä (noin 5 g/100 g raakavalkuaista) kuin soijarouheessa (6,2 g/100 g raakavalkuaista). Rehun raakavalkuaispitoisuus (RV) lasketaan rehun tyyppipitoisuuden perusteella ja se sisältää aminohappojen lisäksi kaikki tyyppipitoiset aineet rehussa, kuten säilönnässä hajonneen valkuaisen ja esimerkiksi kreatiinin ja urean (Luke 2015). Perunan solunesteestä valmistetun perunavalkuaisen ja soijarouheen aminohappokoostumus ja rehuarvo on esitetty taulukossa 4. Perunan rajoittavat aminohapot sikojen ruokinnassa ovat metioniini ja isoleusiini. Metioniiniä perunarehussa on noin 0,03–0,04 %, kuivatussa perunassa 0,12 % ja perunavalkuaisessa 1,74 % (Evapig® 2014). Isoleusiinia perunarehussa on noin 0,03–0,08 %, kuivatussa perunassa 0,24 % ja perunavalkuaisessa 4,4 %. Peru-

nan valkuaisen aminohappokoostumus on verrattavissa kaseiiniin, kalajauhoon tai muuhun eläinperäisen valkuaiseen (Pedersen & Lindberg 2004) ja on selkeästi edullisempi sikojen ruokinnan kannalta kuin esimerkiksi auringonkukkarouheella (Cortamira ym. 2000), lupiinilla tai rypsiroouheella (Gdala ym. 1996).

Taulukko 4. Perunavalkuaisrehun ravintoaine- ja aminohappokoostumus (Evapig®) soijarouheeseen verrattuna.

		Perunavalkuainen	Soijarouhe
Kuiva-aine	%	92,30	87,60
Tuhka	%	2,58	6,31
Raakavalkuainen	%	77,62	47,20
Raakarasva	%	0,92	1,49
Raakakuitu	%	0,81	3,89
NDF	%	6,00	8,94
ADF	%	1,75	4,82
ADL	%	0,37	0,35
Tärkkelys	%	0,65	0,00
Sokerit	%	0,92	9,20
Kalsium	%	0,29	0,34
Fosfori	%	0,40	0,62
Lysiini	%	5,89	2,88
Treoniini	%	4,31	1,83
Metioniini	%	1,74	0,66
Kystiini	%	1,03	0,68
Tryptofaani	%	0,95	0,61
Valiini	%	5,12	2,28
Nettoenergia, kasvava sika	MJ/kg	10,23	8,36
Nettoenergia, aikuinen sika	MJ/kg	10,39	8,89
sulava lysyiini	%	5,24	2,65
sulava treoniini	%	3,88	1,63
sulava metioniini	%	1,58	0,61

2.2.3. Kivennäisaineet

Perunassa on melko vähän sioille tärkeitä kivennäisaineita rehunkäyttöä ajatellen (McDonald ym. 2010). Edwards ym. 1986 tutkimuksessa havaittiin, että nestemäinen perunarehutuote sisälsi yli kaksi kertaa enemmän kaliumia kuin mitä sika tarvitsee rehussa. Tämä ei aiheuttanut kokeissa ongelmia koska sioilla oli jatkuvasti saatavilla vettä, jolloin ylimääräinen kalium eritetään virtsan mukana pois. Jos sioilla on rajoitettu juotto, niin rehun korkea kaliumpitoisuus saattaa aiheuttaa ongelmia. Myös uloste voi löystyä runsaan kaliumin saannin myötä.

2.2.4. Haitta-aineet

Perunan raakavalkuaisesta noin puolet on tyypeä sisältäviä yhdisteitä, jotka eivät kuitenkaan ole proteiineja. Vapaana alkaloidina tai glykoalkaloidiyhdisteinä esiintyvät solaniini ja sen yhdisteet aiheuttavat yksimahaisille eläimille suolistotulehdusta. Glykoalkaloidit estävät koliiniesteraasi-entsyymien toimintaa, mikä johtaa asetyylikoliinin kertymisen hermokudoksiin. Ne estävät myös solukalvojen normaalia Ca- ja Na-ionien kuljetusta, mikä haittaa ruuansulatuskanavan ja muiden elinten aineenvaihduntaa. Glykoalkaloidien maku on karvas ja polttava (McDonald ym. 2010). Niiden pitoisuus voi vaihdella lajikkeen mukaan ja niiden pitoisuus on korkeampi kuoressa (83,8–3526 µg/g) kuin mallossa (6,4–591 µg/g) tai koko perunassa (43,5–629 µg/g) (Friedman 2006). Sadonkorjuun jälkeen glykoalkaloidipitoisuudet voivat nousta varastoinnin ja kuljetuksen aikana, sekä valon, lämmön, viipaloinnin, paloittelun, itämisen ja kasvipatogeeneille altistuksen yhteydessä (Friedman 2006).

Peruna sisältää myös proteaasi-inhibiittoreita, jotka haittaavat valkuaisen sulavuutta sioilla. Kuumennuskäsittely estää proteaasi-inhibiittorien toiminnan (Kärenlampi & White 2009).

Perunan fosforista 20 % on varastoituneena fytaattina (McDonald ym. 2010), jonka pitoisuus vaihtelee lajikkeen mukaan välillä 0,02–0,047 g /100 g (Burlingame ym. 2009). Kasvipärisen fytaattifosforin sulavuus yksimahaisilla eläimillä on melko huono.

2.3. Perunan sivujakeiden käyttö sikojen ruokinnassa

2.3.1. Kuorimassa

Perunan höyrykuorimisprosessissa syntyy nestemäistä kuorimassaa ja solunestettä, mitä on käytetty sikojen ruokinnassa sellaisenaan (Edwards ym. 1986). Nestemäisen massan rehuarvo määräytyy sen kuiva-aine- ja haitta-ainepitoisuuksien mukaan. Edwards ym. (1986) kokeessa havaittiin korvattaessa perinteisen kasvatusrehun kuiva-aineesta 35 % ja 50 % perunankuorimassalla, että sikojen rehun syönti ja tuotanto huononivat hyvin selkeästi ja koe lopetettiin aikaisemmin näiltä ryhmiltä huonojen kasvutulosten takia. Kun rehusta korvattiin 25 % perunamassalla, sikojen tuotantotulokset heikkenivät vain vähän. Ruhon paino pieneni ja kasvu sekä rehunhyötysuhde huononivat. Muutos ei kuitenkaan ollut niin suuri kuin korvattaessa rehusta suurempi osa perunamassalla. Yleisesti ottaen kypsennetyn perunan rehuarvo on aina parempi kuin raakan (Whittemore ym. 1973).

Van Lunen ym. (1989) tutkimuksessa höyrytyksen jälkeen syntyvällä perunankuorimassalla voitiin korvata ohrasta tai maissista jopa 30 % rehun kuiva-aineesta sikojen startti-, kasvatus- ja loppukasvatusrehuissa. Perunan kuorta annettiin kokeessa sioille 0, 10, 15, 20, 25 tai 30 % rehun kuiva-aineesta. Kuori oli höyrytämisen jälkeen syntyneitä nestemäistä kuorijätettä. Sulavuuskokeessa kuoren kuiva-aineen sulavuudeksi määritettiin 88,2 % ja raakavalkuaisen 78,2 %. Kokeessa rehuissa käytetyn ohran kuiva-aineen sulavuus oli huonompi kuin perunankuorten, 76,2 % ja raakavalkuaisen 66,3 %. Höyryttäminen ilmeisesti paransi erityisesti perunan raakavalkuaisen sulavuutta. Van Lunen ym. (1989) kokeessa ei havaittu eroja sikojen tuotannossa edes suurilla määrillä perunankuorta ruokittaessa. Ainoastaan rehunkulutus sikaa kohti koko kokeen aikana hieman pieneni, kun perunankuorten osuus rehussa kasvoi. Koerehuja oli täydennetty puhtaalla metioniinilla, jonka oletettiin oleva ensimmäinen kuorirehun käyttöä rajoittava aminohappo. Täydennys saattoi vaikuttaa positiivisesti siihen, ettei eri koeryhmien välillä syntynyt eroa tuotantotuloksissa.

2.3.2. Perunapulppa

Kuitupitoista perunapulppua voi käyttää lihasikojen loppukasvatuksessa korkeintaan 15 % rehun kuiva-aineesta, kun valkuais täydennyksestä huolehditaan. Pulpan runsas käyttö lisää teurastustappiota (Edwards & Livingstone 1990). Friend ym. (1963) kokeissa sikojen kasvatus- ja loppukasvatusrehuista voitiin korvata 15 % ohrasta kuivatulla perunapulpalla. Kun ohrasta korvattiin perunapulpalla 30 %

tuotanto kärsi. Sikojen kasvu huononi ja niiden ulosteet muuttuivat mustiksi ja liejumaisiksi, jolloin sikojen ja karsinoiden puhtaudesta oli vaikea huolehtia.

2.3.3. Perunaproteiini

Perunaproteiini eli perunavalkuainen on aminohappokoostumukseltaan arvokas rehu sioille (Siljander-Rasi & Valaja 2008). Kuivattuna sen käyttö on yleistä porsasrehuissa, mutta lihasikojen rehuissa sitä ei juuri käytetä. Perunaproteiinin kuivaaminen mahdollistaa sen käytön porsaiden ruokinnassa ja poistaa rehun käytön kausiluonteisuuden. Kuivaaminen on kuitenkin kallista ja rehun kannattavuus näin ollen huono. Maatalouden ympäristövaatimusten kiristyminen voi tulevaisuudessa lisätä paineita perunaproteiinin kuivaamiseen.

Kuivaamattoman perunaproteiinin käytöstä sioille on julkaistu vain vähän tutkimuksia. Hackl ym. (1996) tutkimuksessa perunaproteiini oli säilötty orgaanisella happoseoksella. Soijarouheen valkuainen korvattiin perunaproteiinilla lihasikojen (33–108 kg) ruokinnassa. Perunaproteiiniryhmän sikojen kasvu oli noin 6 % ja rehun energian hyötysuhde 11 % parempi kuin soijaryhmän sikojen. Tutkimuksessa sikojen rehut oli optimoitu samaan raakavalkuaispitoisuuteen, joten perunaproteiinilla ruokitut siat todennäköisesti saivat enemmän välttämättömiä aminohappoja, mm. lysiiniä ja treoniinia kuin soijarouheella ruokitut. Perunaproteiinin raakavalkuaisen sulavuus oli Hackl ym. (1996) kokeessa 94 % ja typettömien uuteaineiden 99 %.

Kotimaisen kuivaamattoman perunaproteiinin raakavalkuaisen kokonaissulavuus oli Siljander-Rasin & Valajan (2008) kokeessa 83 % ja typettömien uuteaineiden 95 %. Kotimaisen kuivaamattoman perunaproteiinin aminohappojen ohutsuolisulavuus oli huonompi kuin ulkomaisen kuivatun perunaproteiinin. Perunaproteiinin käytöllä oli edullinen vaikutus sikojen rehuhyötysuhteeseen, joka on lihasikojen kasvatuksen tärkeimpiä taloudellisia mittareita. Kokeessa käytetyssä erässä oli kuivaainetta noin 20 %, ja massamainen perunavalkuainen oli käytännössä siirrettävä lapioidella. Tilaolosuhteissa tämä ei ole mahdollista. Perunavalkuaisen tuorekäyttöä varten rehun kuiva-aine olisi optimoitava niin, että rehu pystyttäisiin pumppaamaan varastosäiliöstä liemiruokintalaitteen sekotussäiliöön. Tulosten perusteella kuivaamattoman perunaproteiinin valkuaisella voitiin korvata 75 % soijan valkuaisesta lihasikojen ruokinnassa. Lihasikojen rehuseoksissa sen käyttömäärä rehun kuiva-aineesta on noin 11 % alkukasvatuksessa ja 7 % loppukasvatuksessa.

Vähän glykoalkaloideja sisältävä kuivattu perunaproteiini soveltuu hyvän sulavuutensa ja aminohappokoostumuksensa vuoksi hyvin porsasrehuihin korvaamaan maitoproteiinia, plasmatuotteita tai kalajauhoa (Kerr ym. 1998, Pedersen & Lindberg 2004). Kerr ym. (1998) tutkimuksen mukaan perunaproteiinia voidaan käyttää porsaiden rehuissa alle 10 % seoksessa. Pedersen & Lindberg (2004) vertailivat perunaproteiinin ja kalajauhon käyttöä vieroitusikäisten porsaiden rehuissa. He havaitsivat, että korvattaessa kalajauhoa perunaproteiinilla porsaiden rehunkulutus ja kasvu paranivat. Kokeessa porsaiden rehuun lisättiin 10 % joko kalajauhoa tai perunaproteiinia ja koeryhmille annettiin joko toista näistä perusrehuista tai koerehuja, joissa oli molempia (50 % kalajauhoa ja 50 % perunaproteiinia tai 25 % kalajauhoa ja 75 % perunaproteiinia). Kokeen perusteella vähän glykoalkaloideja sisältävää perunaproteiinia voidaan käyttää ainakin 10 % porsaiden rehuseoksissa ja perunaproteiinilla voidaan korvata kalajauhoa kasvun häiriintymättä.

2.4. Peruna turkiseläinten ruokinnassa

Turkiseläinten ruuansulatuskanavan kyky sulattaa hiilihydraatti- ja tärkkelyspitoisia rehuaineita ei ole yhtä hyvä kuin sikojen tai siipikarjan. Turkiseläimet ovat lihansyöjiä, mutta jalostuksen ansiosta ketut ovat sopeutuneet käyttämään hyväkseen myös tärkkelyspitoista rehua paremmin kuin minkit. Turkiseläimillä kuivatun perunajauhon raakavalkuaisen sulavuus on 75 % ja perunaproteiinin raakavalkuaisen sulavuus on 86 % (Luke 2016).

Turkiseläinten rehussa käytetään yleisimmin perunaproteiinia täydentämään tai korvaamaan kalajauhoa. Bergin (1986) mukaan kypsennetty peruna soveltuu mainiosti turkiseläinrehun raaka-aineeksi, sillä perunatärkkelyksen fysikaaliset ominaisuudet ovat viljaa paremmat. Perunarehua on käytetty myös ketunrehuna, mutta se huonontaa muun rehun sulavuutta pieninäkin määrinä (Kortelainen ym. 2014). Kokeessa perunarehua käytettiin vain 3,4 ja 6,6 % rehun kuiva-aineesta, mutta jos sen pienempi käyttömäärä huononsi rehun ravintoaineiden sulavuutta kontrollirehuun verrattuna. Perunarehun käyttö lisäsi myös kettujen sonnan vesipitoisuutta. Myös perunankuoriraa on kelvollinen ketunrehun raaka-aineeksi, kunhan pitoisuus rehussa ei ole liian korkea, jolloin rehun ravintoaineiden sulavuus alentuu (Koskinen ym. 2007). Kyseisessä tutkimuksessa ei havaittu perunankuoriraa-keella olevan negatiivisia vaikutuksia tuotantotuloksiin tai eläinten terveyteen.

Perunan käyttöä on tutkittu myös minkeillä. Rouvinen-Watt ym. (2000) tutkimuksessa vehnän korvaaminen minkinrehussa osin perunatärkkelyksellä ei vaikuttanut nahkojen kokoon tai laatuun. Kuitenkin vehnän korvaaminen osittain ranskanperuna- ja perunalastuteollisuuden sivutuotteella aiheutti eläinten turkin värilaadun huonontumista verrattuna eläimiin, joiden rehussa oli käytetty vain vehnää tai perunatärkkelystä.

2.5. Peruna siipikarjan ruokinnassa

Perunan ja perunatuotteiden käyttöä siipikarjan rehuna rajoittavat samat tekijät kuin sioilla, kuten perunan suhteellisen matalat metioniini- ja isoleusiinipitoisuudet ja perunan suuri sulamattoman tärkkelyksen pitoisuus. Siipikarjan rehuissa yleisin perunatuote on perunaproteiini, jota voidaan käyttää rehuissa noin 10 % (Zollitsch & Baumung 2004).

Tärkkelys on tärkeä energianlähde siipikarjan rehuissa. Raa'an perunatärkkelyksen sulavuus broilereilla on huono (38,4 %) verrattuna esimerkiksi herneeseen (85,3 %), ohraan (98,5 %) tai vehnään (93,9 %) (Weurding ym. 2001). Samoin kuin sioilla, suuri osa perunan tärkkelyksestä ei hajoa entsyymaattisesti, vaan fermentoituu suoliston loppuosassa mikrobien vaikutuksesta. Kuumennuskäsittelyt parantavat perunatärkkelyksen sulavuutta myös siipikarjalla.

Perunaproteiini toimii parhaiten perunatuotteista broilereiden rehuissa, vaikka se saattaakin rajoittaa tuotantoa hiukan. Fernando ym. (2011) kokeessa broilereiden rehusta korvattiin soijarouhe perunaproteiinilla (158 g/kg ka rehussa). Perunaproteiinilla ruokittujen lintujen rehunkulutus laski 7,7 % ja kasvu oli 7,8 % huonompi kuin soijarouhetta saaneilla linnuilla, vaikka molemmissa rehuissa oli lisäksi valkuaisen lähteenä myös auringonkukkarouhetta lisäämässä raakavalkuaisen määrää rehuissa. Kuitenkaan kokeessa ei havaittu lintujen rehunhyötysuhteen huononemista eikä kuolleisuuden kasvua. Perunaproteiini-rehun kuiva-aineen sulavuus (56,3 %) oli korkeampi ja raakavalkuaisen sulavuus (56,8 %) matalampi kuin soijarouherehulla (51,9 % ja 63,7 %).

Muniville kanoille perunaa voi käyttää enemmän kuin broilereille, koska kanat tarvitsevat vähemmän valkuaista rehussaan. Munivien kanojen rehussa perunarehua on voitu käyttää 50 % soijan ohella. Perunarehun kuumennuskäsittely (2 h 150 °C) ei vaikuttanut kanojen tuotantoon, rehunkulutukseen eikä rehunhyötysuhteeseen (Halle ym. 2006).

Peruna, kuten monet muutkin kasvit, sisältää antimikrobisia peptidejä (AMP), joita kasvit erittävät suojaksi patogeenejä vastaan ja joilla voi olla linnuille edullisia vaikutuksia. Ohh ym. (2009) testasivat perunaproteiinin ja puhdistetun perunaproteiinin antimikrobisia ominaisuuksia broilereilla. Perunaproteiinilla ja puhdistetulla perunaproteiinilla ruokituilla linnuilla aerobisten bakteerien kokonaisuus ja koliformisten bakteerien määrä ulosteessa ja umpisuolessa väheni lineaarisesti. Kokeessa käytettiin Gogun laaksosta Etelä-Koreasta peräisin olevaa perunalajiketta. Eri perunalajikkeiden välillä saattaa olla eroja niiden antimikrobisten peptidien koostumuksessa ja sitä kautta vaikutuksessa koliformisiin bakteereihin. Tulokset ovat kuitenkin mielenkiintoisia, koska perunaproteiini on tärkkelyksen valmistamisessa syntyvä sivutuote, jota voisi hyötykäyttää ja samalla vähentää ihmisenkin terveydelle vaarallisten bakteerien määrää broileriketjussa. Samalla näiden bakteerien torjunnassa maailmalla yleisesti käytettävien antibioottien käyttöä voisi vähentää.

Perunatuotteiden syöttäminen siipikarjalle saattaa sisältää myös riskejä. Perunan käyttö rehussa saattaa lisätä broilereilla kuolioisen suolistotulehduksen mahdollisuutta (Palliyeguru ym. 2010, Fernando ym. 2011). Perunan aminohappokoostumus voi suosia yleisen suolistobakteerin, *Clostridium perfringens*, lisääntymistä (Palliyeguru ym. 2010). *C. perfringens* kuuluu normaaliin suolistobakteerikantaan, mutta sen nopea lisääntyminen muissa suoliston osissa kuin umpisuolessa saattaa johtaa kuolioiseen suolistotulehdukseen. Perunaproteiinia soijarouheen sijaan rehussa saaneilla linnuilla maksasta löytyi merkitsevästi enemmän vaurioita ja veren seerumin alfa-toksiinin vastaainepitoisuudet olivat korkeammat kuin soijarouhetta saaneilla linnuilla (Fernando ym. 2011). Palliyegurun ym. (2010) kokeessa broilereiden rehun pääasiallinen valkuaisen lähde oli konsentroitunut perunaproteiini, jonka raakavalkuaispitoisuus oli 79 %. Perunaproteiinia lisättiin rehuun 158 g/kg ka ja ruokintaa verrattiin soijarouheeseen tai kalajauhoon perustuvaan ruokintaan. Palliyeguru ym. (2010) havaitsivat, että perunaproteiini huononsi kasvua ja nosti kuolleisuutta merkitsevästi. Kokeessa havaittiin myös merkitsevästi enemmän vaurioita suolen alueella ja maksassa perunaproteiinia saaneilla linnuilla kuin soijarouhetta saaneilla linnuilla.

3. Perunan sivujakeiden prosessointimenetelmät rehuarvon parantamiseksi

Perunan ja sen sivujakeiden rehuarvoa voidaan parantaa fysikaalisilla, kemiallisilla ja biologisilla menetelmillä. Fysikaalisista menetelmistä perinteisin on kuumennus. Kemialliset menetelmät sisältävät erilaisten orgaanisten happojen käytön. Biologisiin menetelmiin puolestaan kuuluvat luonnollinen ja hallittu fermentointi eli bioprosessointi mikrobien ja entsyymien avulla. Bioprosessointi on nykyisin mahdollista toteuttaa myös geeniteknisesti muokatuilla mikrobeilla. Tässä raportissa keskitytään muokkaamattomien mikrobien käyttöön 2–30 °C:n lämpötiloissa toteutetuissa, alle 3 viikkoa kestävässä fermentoinneissa, joilla voisi olla käyttömahdollisuuksia perunan sivujakeiden käsittelyssä.

3.1. Fysikaaliset prosessointimenetelmät

Sioilla, siipikarjalla ja turkiseläimillä kypsennetyin perunan rehuarvo on aina parempi kuin raa'an (Wittemore ym. 1973) ja siksi perunan tehokas käyttö rehuksi vaatii kypsennyksen (McDonald ym. 2010). Kypsennettyä perunaa voidaan käyttää rehussa enemmän kuin raakaa, koska kypsennys parantaa etenkin valkuaisen sulavuutta. Energian sulavuus paranee merkittävästi tärkkelysryövästen rikkoutuessa. Riittäviä kypsennystapoja ovat keittäminen (30–40 min), höyrytys (100 °C, 20–30 min) ja hauduttamalla keittäminen (60 min). Perunan höyryttäminen tai keittäminen vähentää myös alkaloidipitoisuutta, vaikka glykoalkaloidit kestävät hyvin kuumennusta. Kypsentyminen alentaa myös proteaasi-inhibiittorien pitoisuutta. Pitkä kuumennus ja hidas jäädyttäminen huonontavat valkuaisen laatua (McDonald ym. 2010).

Akryyliamidi on yhdiste, jota syntyy tärkkelyspitoista ruokaa kuumennettaessa (Wilson ym. 2006). Akryyliamidi on ihmiselle neurotoksiini ja eläimille karsinogeeninen yhdiste. Eläinten lihaan ja eläintuotteisiin voi siirtyä akryyliamidia rehussa käytetyistä elintarviketeollisuuden kuumennuskäsittelyistä sivutuotteista kuten perunatuotteista (Halle ym. 2006). Kuumennuskäsittelyssä perunarehussa oli Halle ym. (2006) kokeessa akryyliamidia 671 µg/kg kun kuumentamattomassa, samassa perunarehussa sen pitoisuus oli 125 µg/kg. Kuitenkin Halle ym. (2006) tutkimuksessa kananmunista ja lihasta löytyneet akryyliamidipitoisuudet olivat paljon pienempiä kuin usein ihmisten ruuaksi menevistä kasvituotteista löydetty pitoisuudet (Dybing ym. 2005). Normaalisti ihminen saa ruuasta akryyliamidia 1–50 µg/kg. Yhden kananmunan tai 100 g kananlihan syömisestä saisi Halle ym. (2006) mukaan noin 2,6 µg/kg akryyliamidia. Kuumennettujen perunatuotteiden käyttäminen eläinten rehussa ei tulosten mukaan lisännyt haitallisesti eläintuotteiden akryyliamidipitoisuutta.

3.2. Fysikaaliset säilöntämenetelmät

Orgaanisia happoja käytetään yleisesti rehun säilönnässä ja ne parantavat vieroitetun porsaan ja kasvavan lihasian tuotantoa, estävät ripulia ja parantavat aminohappojen sulavuutta (Partanen & Mroz 1999). Perunaa voi säilöä murskattuna muurahaishapolla tai melassilla (Edwards & Livingstone 1990). Rehu säilyy 6–8 kk. Säilöntä ei paranna raa'an perunan rehuarvoa.

Perunankuorimassan säilömistä on testattu käyttäen suomalaisessa säilörehun valmistustavassa käytettyä AIV 2+ -liuosta, joka sisältää muurahaishappoa 76 % ja ammoniumformiaattia 5,5 %. Säilöntäliuosta lisättiin 5 ml/kg kuorimassaa lieriönmuotoisiin säiliöihin ja massaa varastoitettiin kaksi viikkoa 20 °C:ssa. Kuiva-aine-, sokeri-, sekä maitohappo- ja etikkahappopitoisuuksien mukaan (taulukko 5) massa säilyi tuoreen veroisena. Kontrollissa sen sijaan näkyy luontaisten maitohappobakteerien toiminta: ne ovat käyttäneet sokerin maito- ja etikkahapoksi (Lehto ym. 2007).

Taulukko 5. AIV 2+ -liuoksen vaikutus perunankuorimassan säilöntälaatuun kahden viikon säilytyksen aikana (Lehto ym. 2007).

Perunankuorimassa	Kuiva-aine (%)	Sokerit g/kg ka	Maitohappo g/kg ka	Etikkahappo g/kg ka
Tuore, 0 viikkoa	25,9	36,20	6,8	4,74
Kontrolli 1 viikko	27,1	4,47	46,8	11,58
AIV 2 +, 1 viikko	25,2	37,67	5,53	3,73
AIV 2 +, 2 viikko	24,4	34,23	6,6	4,07

3.3. Biologiset menetelmät

3.3.1. Fermentointi luontaisen mikrobiston avulla

Luonnollinen fermentointi perustuu sisäsyntyisten mikrobien, useimmiten maitohappobakteerien ja/tai hiivojen toimintaan. Fermentoinnin ensimmäisinä tunteina pH on korkea ja maitohappobakteereita sekä hiivoja on vähän. Maitohappopitoisuus on pieni. Myöhemmin pH laskee, maitohappobakteerien ja hiivojen määrä lisääntyy sekä orgaanisten happojen ja etanolin pitoisuus nousee (Canibe & Jensen 2012). Luonnolliseen fermentointiin vaikuttavat raaka-aineesta ja ympäristöstä tulevat mikrobit. Seuraavassa käsitellään perunan sivujakeiden luonnollisen mikrobiston koostumusta, fermentointiajan vaikutusta mikrobistoon ja massan koostumukseen sekä eläinten ravitsemukseen.

Perunan luonnollinen mikrobifloora on runsas ja monipuolinen. Siihen vaikuttavat maasta ja ilmasta tulevat mikrobit, maanviljelykäytännöt, korjuumenetelmät ja varastointiolosuhteet. Käsittelmättömästä perunasta on löydetty perunalle sairauksia aiheuttavien mikrobien lisäksi esimerkiksi *Bacillus*-, *Clostridium*-, *Salmonella*- ja *Listeria*-sukuihin kuuluvia sekä koliformisia bakteereita. Prosessoitujen tuotteiden mikrobistovoito on edellistä runsampi, sillä siihen vaikuttavat kaikkien edellä mainittujen tekijöiden ja olosuhteiden lisäksi tuotteen läpikäymät prosessit. Kuorituista ja paloitelluista perunoista on eristetty monenlaisia bakteereita (mm. enterobakteerit, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium butyricum* ja koliformit, hiivoja (*Rhodotorula*) ja homeita (*Penicillium* ja *Aspergillus*) (Doan & Davidson 2000).

Sivujakeiden, kuten perunapulpan mikrobisto on todennäköisesti vieläkin rikkaampi. Mayer & Hillebrandt (1997) tunnistivat 28 bakteeri-, neljä sienilajia ja yhden hiivalajin. Pulpan pintakerroksessa esiintyi pääasiassa aerobisia mesofiilisiä bakteereja (*Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Sphingomonas*) 10^7 – 10^8 pmy/g märkäpulppaa. Pulpan pohjakerroksessa oli anaerobisia (*Clostridium*) 10^2 – 10^4 ja anaerobisia aerotolerantteja bakteereja (*Lactobacillus*) 10^7 – 10^9 pmy/g märkäpulppaa. Lisäksi esiintyi *Bacillus*-suvun lajeja. Homeista *Geotrichum candidum* ja *Mucor circinelloides* olivat yleisiä, ja jonkin verran esiintyi *Penicillium roqueforti*- ja *Arthrimum phaeosperman*- homelajeja. Lisäksi tunnistettiin *Rhodotorula* sp. hiivalaji. Pulpan biologisen säilönnän saivat aikaan anaerobiset bakteerit (todennäköisimmin maitohappobakteerit) aiheuttamalla happamuuden lisääntymisen.

Perunapulpan mikrobisto näyttää pysyvän suhteellisen tasaisena lämpötilavälillä 2,4–18,8 °C Saito ym. (2006) tutkimusten mukaan (taulukko 6). Maitohappobakteerit olivat pulpan dominoivat mikrobit. Haitallisia koliformeja esiintyi melko tasaisesti. Hiivoja ja eritoten homeita löytyi melko vähän.

Taulukko 6. Perunapulpan mikrobisto eri lämpötiloissa (Saito ym. 2006).

Lämpötila °C	Mikrobimäärä log ₁₀ pmy/g			
	Maitohappobakteerit	Koliformiset bakteerit	Homeet	Hiivat
18,8	5,8	5,9	4,3	2,6
11,0	7,3	5,6	4,4	3,6
2,4	6,6	5,5	4,9	1,6

Edwards ym. (1986) testasivat raa'an, höyrykuoritun, nestemäisen perunamassan säilyvyyttä ja vaikutusta sikojen tuotantoon 7 viikkoa. Perunamassaa ei käsitelty mitenkään säilymisen parantamiseksi. Perunamassa saavutti mikrobiologisen tasaisuuden noin viikon kuluessa. Massasta analysoitiin suuria pitoisuuksia maitohappobakteereita, jotka laskivat massan pH:ta ja paransivat sen säilyvyyttä (taulukko 7). Hiivatasot olivat huolestuttavan suuria ja voivat aiheuttaa ongelmia sioille syötettäessä, mutta hiivojen määrä ei enää lisääntynyt ensimmäisen viikon säilytyksen jälkeen. Massanäytteestä löytyi myös hometta (*G. candidum*), joka voi aiheuttaa nisäkkäille iho-oireita ja allergiaa. Home kasvoi perunamassan päällä ja sen määrä väheni säilytyksen aikana. Kaiken kaikkiaan nestemäinen perunamassa säilyi hyvin haponmuodostuksen vuoksi.

Taulukko 7. Edwards ym. (1986) kokeessa määritetyt höyrykuoritun perunamassan mikrobit (Log₁₀ mikrobi-pesäkkeiden määrä/g perunamassaa).

Aika, viikkoa	Hiivat		Homeet		Maitohappobakteerit
	25 °C	37° C	25 °C	37 °C	25 °C
0	3,72	4,59	3,78	2,48	7,00
1	6,07	6,04	6,00	<1,00	8,18
2	6,34	5,95	5,20	<1,00	8,21
3	6,50	5,83	5,53	<1,00	8,25
4	6,62	5,58	4,68	1,30	7,92
5	6,67	6,52	4,15	2,95	7,97
6	6,34	6,20	2,70	2,48	8,43
7	6,09	5,98	1,95	<1,00	7,81
7 avaamaton	5,18	5,46	5,85	<1,00	7,49

Sikojen tuotantoon säilytysajalla ei ollut vaikutusta, joten kuorimassa sopi korvaamaan osan viljasta sikojen liemiruokinnassa. Kuitenkin massan säilyvyyteen on kiinnitettävä huomiota, sillä massan rehuarvot heikentyivät, ja hiilihydraattien hajoaminen orgaanisiksi hapoiksi ja vedeksi johti kuiva-aineen määrän laskuun (taulukko 8).

Taulukko 8. Edwards ym. (1986) kokeessa käytetyn höyrykuoritun perunamassan kemiallinen koostumus säilytyksen eri vaiheissa.

	Säilöntäaika, viikkoa					
	0	1	2/3	4/5	6/7	7 (avaamaton)
Kuiva-aine (%)	11,7	10,8	10,1	9,2	9,2	10,1
pH	3,9	3,8	3,7	3,7	3,7	3,8
Perunamassassa (g/l)	18,8	20,4	22,1	27,7	29,1	21,6
Maitohappo	2,0	2,1	2,6	4,2	6,7	4,2
Etikkahappo	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,3	0,6
Propionihappo	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2		0,6
Voihappo	3,9	3,8	3,7	3,7	3,7	3,8
% kuiva-aineesta						
Raakavalkuainen	14,9	15,6	16,0	18,4	19,6	20,3
Raakakuitu	6,7	7,9	8,4	8,3	10,1	10,0
Tuhka	7,8	8,8	10,0	12,4	13,4	11,0
NDF	25,6	29,5	28,8	28,1	28,1	26,9
ADF	11,4	13,1	14,7	14,2	19,0	15,8
Hemiselluloosa	14,2	16,3	14,1	13,9	9,1	11,0
Selluloosa	5,8	7,1	8,4	8,2	10,4	8,7
Valkuaisen sulavuus (%)	84,6	77,6	-	74,8	76,4	82,6
Laskennallinen DE (MJ/kg ka)	12,5	11,7	11,1	10,5	9,6	10,6

DE: sulava energia.

3.3.2. Fermentointi maitohappobakteerien avulla

On kovin vähän tietoa yksinomaan maitohappobakteerien käytöstä perunapulpan tai perunarehun säilömisestä hallitun fermentoinnin avulla. Okine ym. (2005) testasivat *Lactobacillus rhamnosus*-maitohappobakteerikannan kykyä säilöä perunapulppaa. Perunapulppaan lisättiin kylmäkuivattua bakteeria 0,5 ja 1,0 g/ka kg, joka riittäisi tuottamaan vähintään 1×10^6 pmy (pesäkettä muodostavaa yksikköä)/g. Lasipulloon lisätyn, tiiviiksi painetun pulpan tiheys oli $1\ 125\ \text{kg/m}^3$. Pullot suljettiin ilmatiiviisti ja pidettiin $15 \pm 5\ ^\circ\text{C}$ lämpötilassa. Toisessa testissä bakteeritiheys oli sama, mutta perunapulpan tiheys oli 30 % edellistä pienempi ja se säilöttiin polyvinyylimuoviin ilmatiiviisti ja pidettiin avoimessa säiliössä $12 \pm 5\ ^\circ\text{C}$ lämpötilassa. Fermentointiaika molemmissa testeissä oli 50 vuorokautta. Tulosten mukaan maitohappobakteerisäilönnällä ei ollut merkittävää eroa kontrollinäytteisiin, joihin ei lisätty kyseistä bakteerikantaa. Esimerkiksi maito- ja etikkahappo lisääntyivät ja pH laski sekä bakteeria sisältävissä että sisältämättömissä näytteissä samansuuntaisesti (Okine ym. 2005). Tämän saattoi selittää se, että perunapulppaa ei kuumennettu ennen bakteeriympin lisäämistä. Siten perunapulpassa luontaisesti olevat mikrobit pystyivät fermentoimaan sen eikä eroa voitu huomata pelkästään *L. rhamnosus* -bakteerikannan toimintaan.

3.3.3. Fermentointi hiivojen avulla

Saccharomyces cerevisiae -hiivalla on monia käyttösovellusalueita erilaisissa elintarvikkeiden valmistusprosesseissa, kuten leivän tai alkoholin valmistuksessa. Sitä on myös testattu rehukäyttöön tuottamaan yksisoluproteiinia elintarvikkeiden tai niiden valmistusprosessien sivutuotteista. Bacha ym.

(2011) testasivat hedelmä- ja vihannessivutuotteiden (porkkana, appelsiini, omena) sekä perunankuorien soveltuvuutta biomassan tuottamiseksi *S. cerevisiae* -hiivan avulla laboratorio-olosuhteissa. Ennen fermentointia massa käsiteltiin kemiallisesti selluloosan hajottamiseksi. Hiivasolut lisättiin autoklavoiutuun (121 °C, 20 min) massaan ja fermentoitiin aerobisesti 37 °C:ssa viisi vuorokautta. Tulosten mukaan perunankuorissa oli suurin kuiva-aine- ja hiilihydraattipitoisuus sekä yksisoluproteiinin tuotanto verrattuna muihin sivuvirtoihin. *S. cerevisiae* -hiiva pystyy siis käyttämään hyväkseen perunankuoria, mikäli ainakin selluloosaa on hajotettu ennen fermentointia. Fermentointi toteutettiin 37 °C:ssa aerobisesti.

On tutkittu myös muiden amylolyyttisten hiivojen kykyä lisätä tärkkelyspitoisten raaka-aineiden proteiinipitoisuutta yksisoluproteiinin tuotannossa. Gelinas & Barrette (2007) vertasivat tiettyjen *Candida*- ja *Saccharomyces* -sukuun kuuluvien lajien (mm. *Candida utilis*, *Candida albicans*, *S. cerevisiae*) kykyä tuottaa hiivaproteiinia perunajalosteteollisuuden jätevedestä saadusta perunatärkkelyksestä. Fermentointiolosuhteet olivat seuraavat: aerobinen käsittely (ilmastuksen), lämpötila 26–30 °C, aika 20 h ja pH 5,0. Tärkkelys esihydrolysoitiin mallasjauholla. Suurin proteiintuotto saatiin käytettäessä *C. utilis* -hiivaa. Kuivauksen jälkeen fermentoitu tärkkelys sisälsi 11–12 % proteiinia, josta 7–8 % oli hiivaproteiinia. Hiivasolut tuottivat suhteellisen nopeasti proteiinia melko alhaisessa lämpötilassa. Hiivat eivät kuitenkaan kyenneet toimimaan ilman tärkkelyksen esihydrolysointia. Lisäksi rehun mikrobiologisen turvallisuuden kannalta ainakaan em. hiivojen käyttö yksinomaan ei ole suositeltavaa, sillä käytetyssä pH:ssa patogeeniset bakteerit pystyvät hyvin kasvamaan.

3.3.4. Fermentointi homeiden avulla

Kasviperäisen aineksen fermentoinnissa (luonnollisessa ja hallitussa) maitohappobakteerit ovat merkittävimmät mikrobit. Ne muuntavat vesiliukoiset hiilihydraatit pääasiassa maitohapoksi anaerobisessa hajotuksessa. Myös jotkut homeet voivat tuottaa maitohappoa. Oda ym. (2002) testasivat laboratorio-olosuhteissa *Rhizopus oryzae* IFO 4707 -kannan kykyä tuottaa maitohappoa ja samalla hajottaa perunapulpan tärkkelystä ja kuituja 25 °C:ssa kuuden vuorokauden ajan. Homeet tarvitsevat yleensä happea kasvaakseen, mutta *R. oryzae* IFO 4707 -kanta pystyi kasvamaan ilmatiiviissä olosuhteissa. Se tuotti maitohappoa ja alensi pH:ta merkittävästi jo yhden vuorokauden fermentoinnin jälkeen. Samalla perunapulppa muuttui pehmeämmäksi. Homeen erittämät entsyymit hydrolysoivat tehokkaasti tärkkelystä hajottaen osittain soluseinää; tärkkelyksestä suurin osa muuntui vesiliukoiseksi hiilihydraateiksi amylaasin vuoksi, sulavien ja sulamattomien kuitujen pieni väheneminen puolestaan osoitti, että kyseisellä kannalla on myös sellulaasi-, hemisellulaasi- ja pektinaasiaktiivisuutta (Oda ym. 2002) (taulukko 9). Em. seikkojen vuoksi kyseistä kantaa voitaisiin käyttää perunapulpan bioprosessointiin. Toisaalta tutkimuksessa perunapulppa (kuiva-aine 21 %) autoklavoitiin (121 °C, 5 min.) muiden mikrobien tuhoamiseksi ennen homeitiöiden lisäämistä. Siten ei tiedetä, miten kyseinen mikrobi estää muiden, varsinkin haitallisten, mikrobien kasvua, mikä on olennaista turvallisuuden kannalta rehu-käyttöä ajatellen. *R. oryzae* -homeen on todettu aiheuttavan homeinfektioita (mucormycosis) ihmisissä (Ribes 2000).

Taulukko 9. Perunapulpan koostumus ennen ja jälkeen fermentoinnin *Rhizopus oryzae* IFO 4707 -kannalla (Oda ym. 2002).

	Perunapulppa	
	Fermentoimaton	Fermentoitu
Kuiva-aineessa, %		
Raakavalkuainen	4,2	4,8
Raakarasva	0,2	1,0
Tuhka	2,4	2,7
Tärkkelys	33,1	17,6
Kuitu, sulava	42,4	30,3
Kuitu, sulamaton	14,1	11,1

Maitohapon tuottoa ja perunapulpan fermentointikykyä on testattu myös *R.oryzae* -homeen lähisukulaisella *Amylomyces rouxii* -homelajilla (Kito ym. 2009). Saito ym. (2004) vertasivat perunapulpan fermentoinnissa *A. rouxii* CBS 438.76(T)- ja *R. oryzae* NBRC 4707 -kantojen maitohapon tuottokykyä ja sen vaikutusta happamuuteen (pH). Tuotetun maitohapon pitoisuus oli pienempi kuin *R. oryzae* -homeella tuotetun, mutta pH laski alle 4:n sellaiselle tasolle, joka saadaan perinteisesti maitohappobakteereilla fermentoidussa rehussa. Lisäksi *A. rouxii* -hometta on käytetty perinteisesti aasialaisissa fermentoiduissa elintarvikkeissa eikä sen ole raportoitu vaikuttavan haitallisesti eläimiin tai kasveihin (Saito ym. 2004). Näillä perusteilla *A. rouxii* voisi olla *R. oryzae* -hometta parempi vaihtoehto perunapulpan ja muidenkin sivutuotteiden bioprosessoinnissa rehukäyttöön. Kuitenkin tässäkin tutkimuksessa homeitiöt lisättiin steriloituun perunapulppaan, jolloin ei tiedetä kyseisen mikrobin muiden, varsinkin haitallisten, mikrobien kasvua estäviä ominaisuuksia ja siten vaikutusta rehun mikrobiologiseen tai kemialliseen turvallisuuteen.

3.3.5. Fermentointi bakteerien, hiivojen ja homeiden yhdistelmällä

Perunatärkkelyssivutuotteen proteiinirikastukseen on käytetty myös sekaviljelmää, joka koostui *Candida tropicalis* AS 13 ja *Saccharomycopsis fibuligera* JS2 -hiivoista sekä *G. candidum* AS 2.2343 -homeesta suhteessa 1:7:2. Tärkkelysmassaan lisättiin tiettyjä kivennäisaineita sisältävää vettä siten, että kuiva-ainepitoisuudeksi saatiin 35 %, massan pH säädettiin arvoon 7,0 ja se steriloitiin. Sen jälkeen huoneenlämpöön jäädytettyyn massaan lisättiin mikrobikasvustot ja fermentoitiin inkubaatorissa (kiinteän olomuodon fermentointi) 28 °C:ssa 65 %:n kosteudessa. Fermentoinnin tuloksena valkuaispitoisuus kasvoi 6,8 %:sta 16,1 %:iin (Lei ym. 2012).

Li ym. (2011) fermentoivat perunapulppaa anaerobisesti 4 päivää 25 °C:ssa käyttäen kahden bakteerin (*Streptococcus thermophilus* CGMCC No 1.2471, *Bacillus subtilis*, MA 193) ja yhden hiivan seosta (*S. cerevisiae*, CGMCC No. 2.1793). Kokeessa tätä fermentoitua perunapulppaa käytettiin 5 % rehun määrästä, ja havaittiin, että se lisäsi lihasikojen sikojen kasvua ja rehuhyötysuhdetta todennäköisesti ravintoaineiden parantuneen sulavuuden vuoksi.

Wang ym. (2010) tutkivat perunapulpan käyttöä fermentoituna käytettäväksi siipikarjanrehuna. Ensin pulpasta poistettiin vettä ja jäljelle jäävään massaan lisättiin vehnänleseitä ja ravinteita. Seuraavaksi massa käsiteltiin pektinaasilla ja selluloosalla 48 h 35 °C:ssa, minkä jälkeen massa fermentoitiin käyttäen *G. candidum*-hometta, maitohappobakteereita ja hiivaa, jotka oli eristetty perunapulpanasta. Käsitelyn tuloksena ravintoaineiden määrä lisääntyi, muun muassa proteiini noin 3,5–6 -kertaisesti, ja haitallisen solaniinin määrä pieneni alle määritysrajan (taulukko 10). Wang ym. (2010) tekivät ruokintakokeen munivilla viiriäisillä, missä viiriäisten soija-maissi-kalajauhohojaisesta rehusta korvattiin vehnä kokonaan tällä perunapulpalla. Vehnättömiin rehuihin lisättiin eri pitoisuuksia

(200, 150, 100 ja 45 g/kg) fermentoitunutta perunapulppaa. Ruokintakoe onnistui hyvin eivätkä viiriäisten tuotantotulokset huonontuneet fermentoitua perunapulppaa lisättäessä.

Taulukko 10. Perunapulpan, viiriäisille ruokitun fermentoidun perunapulpan ja vehnäleseeseen koostumus Wang ym. (2010) tutkimuksessa.

g/kg	Perunapulppa	Fermentoitu perunapulppa	Vehnälese
Vesi	100–130	100–130	<130
Raakavalkuainen	30–50	>180	>130
Raakarasva	30–40	50–60	30–50
Raakakuitu	400–500	<120	100
Tärkkelys	<50	<10	100–150
Tuhka	40–50	40–50	60
Solaniini	4,3–8,2	-	-

3.4. Entsymaattinen prosessointi

Perunapulpan entsyymaattista hajottamista ja sitä kautta sen sulavuutta voidaan parantaa esimerkiksi lisäämällä pektinaasientsyymivalmistetta Viscozyme® L (*Aspergillus acuelatus* -bakteerista eristetty valmiste). Mayer ym. (2009) kokeessa perunapulppa käsiteltiin ensin kuumentamalla ja sitten α -amylaasi- ja proteaasi- ja α -glukosidaasientsyymeillä, jotka hydrolysoivat tärkkelystä ja proteiineja. Esikäsitelyssä tärkkelyksen poistamiseen käytettyjä entsyymejä laitettiin pulpan sekaan 0, 0,4, 0,6, 0,8 ja 1,6 %, ja sen jälkeen koeryhmien rehuihin lisättiin 0,16 % Viscozyme® L- entsyymiä. Analyysien perusteella 0,4, 0,8 ja 1,6 % esikäsitelyt hajottivat pulpan tärkkelyksen jopa nelinkertaisesti. Entsyymikäsitelyillä voidaan parantaa sulamattoman tärkkelyksen sulavuutta suolistossa. Entsyymikäsitelyt ovat kuitenkin kalliita ja monivaiheisia, joten niiden käytön kannattavuus tuotantomittakaavassa voi rajoittaa sivujakeiden prosessointia.

4. Tuoreen heran prosessointimenetelmiä rehuarvon parantamiseksi

Heraa syntyy juuston, kaseiinin ja rahkan valmistuksen sivutuotteena. Noin noin 150 000 eurooppalaista juustonvalmistajaa tuotti yhteensä 81 miljoonaa tonnia nestemäistä heraa EU:n 27 jäsenvaltion alueella vuonna 2011. Suomessa heraa tuotettiin juuston tuotantomäärästä arvioiden 800 000–900 000 miljoonaa litraa vuonna 2014 (Tietohaarukka 2015). Euroopan heratuoteyhdistyksen (European Whey Products Association, EWPA) mukaan ainoastaan 40 % EU:ssa syntyvästä herasta prosessoidaan elintarvike tai rehuikäyttöön. Muun osan varsinkin pienet- ja keskiuuret tuottajat laskevat yhdyskuntajätteen sekaan. Nestemäisenä jätteenä heran käsittely aiheuttaa välttämättömiä kustannuksia noin 4 senttiä/litra (http://cordis.europa.eu/project/rcn/110695_en.html).

Perunajäte arvotuotteeksi -hankkeessa käytetyn heran koostumus ja laskennalliset rehuarvot sioille näkyvät taulukossa 11. Sikatiloilla heraa käytetään liemiruokinnan komponenttina 5–20 % rehun energiasta. Heran kuiva-aineesta noin puolet on laktoosia, joten se on energiarehu. Eri toimittajien herojen kuiva-aine- ja kivennäispitoisuuksissa on vaihtelua. Valkuaisen aminohappokoostumus on kuitenkin hyvä. Kivennäisistä on runsaimmin kaliumia (24 g/kg ka) ja natriumia (10,6 g/kg ka). Kalsiumia on 7,2 g/kg ka ja fosforia 7,9 g/kg ka (Luke 2014.)

Taulukko 11. Heran kemiallinen koostumus ja rehuarvo sioille.

	Juustohera
Kuiva-aine, g/kg	66
Kuiva-aineessa, g/kg	
Raakavalkuainen	157
Raakarasva hydr.	42
Tuhka	165
Typettömät uuteaineet	648
Rehuarvo sioille	
Nettoenergia-arvo, kasvava sika MJ/kg ka	11,44
Nettoenergia-arvo, Aikuinen sika MJ/kg ka	11,31
Sulava raakavalkuainen, g/kg ka	149
Sulavat aminohapot, g/kg ka	
Lysiini	10,4
Treoniini	7,4
Metioniini + kystiini	4,6

Murskattu höyrykuoritun perunan kuori, juustohera ja viljaa käyttävän tärkkelys- ja etanolituotannon sivujakeet ovat yleisimmät kuivaamattomat sivujakeet sikojen rehuina Euroopassa, ja käytännössä erityisesti lihasiat ruokitaan niillä (Scholten ym. 1999). Yleisesti on tunnettu, että perunan-kuorimassa ja hera säilövät itse itsensä sisäsyntyisten, todennäköisimmin maitohappobakteerien tuottamien orgaanisten happojen ja niiden aiheuttaman happamuuden alenemisen vuoksi. Scholten ym. (2001) tutkimusten mukaan pH aleni ja maito- ja etikkahappo- sekä etanolipitoisuudet lisääntyivät 6 vrk:n varastoinnin jälkeen, mikä kertoo maitohappobakteerien toiminnasta (taulukko 12). Lisäksi etanolipitoisuuden nousu varsinkin herassa voi olla merkki myös hiivojen toiminnasta.

Taulukko 12. Murskatun höyrykuoritun perunankuoren ja juustoheran käymislaatu varastoinnin alussa (T 0) ja 6 vrk:n (T 6) varastointiajan jälkeen (Scholten ym. 2001).

	pH		Maitohappo g/kg		Etikkahappo g/kg		MH/ EH	Etanoli g/kg	
	T 0	T 6	T 0	T 6	T 0	T 6	T 6	T 0	T 6
Höyrykuorittu perunankuori	4,40	3,53	5,80	18,67	0,94	2,18	8,6	0,04	0,33
Juustohera	4,10	3,46	6,78	14,87	0,30	0,52	28,6	0,12	0,90

MH/EH: maitohapon ja etikkahapon suhde.

Hiivoilla voi olla sekä edullisia että haitallisia vaikutuksia sian ravitsemuksen kannalta. Hiivat voivat sitoutua enterobakteereihin estäen siten näiden patogeenisten bakteereiden sitoutumisen mahalaukun epiteeliin (Missotten ym. 2015). Kuitenkin hiivat tuottavat aineenvaihduntatuotteinaan mm. etanolia ja hiilidioksidia, mitkä aiheuttavat epämiellyttävää hajua tai makua heikentäen maittavutta ja vähentäen rehunkulutusta (Plumed-Ferrer & von Wright 2011, Missotten ym. 2015).

Sikojen ruokinnassa fermentoidun liemirehun on todettu olevan parempi kuin fermentoimaton rehu mikrobiologisen puhtauden osalta; ripulia aiheuttavien koliformisten bakteerien määrä väheni, kun pH laski alle 4,5:n. Maitohapon on todettu lisäävän rehun maittavuutta. Joidenkin tutkimusten mukaan näyttää siltä, että maitohappolisä rehussa lisäsi rehunkulutusta, kun taas etikkahappolisä ei vaikuta samoin (Scholten ym. 1999).

Olstorpe ym. (2008) tutkivat maitohappobakteerien ja hiivojen määrää viljaseospohjaisessa liemirehussa (kuiva-aine 25 %), johon lisättiin heraa. Liemirehun annettiin fermentoitua 10, 15 ja 20 °C:ssa viisi vuorokautta, jonka jälkeen panoksesta poistettiin 80 % ja se korvattiin tuoreella nesteellä ja viljaseoksella päivittäin vielä 14 vuorokauden ajan. Edellistä panosta käytettiin ympäri aina 20 %. Tuoreesta herasta löytyi pääasiassa *Pichia membranifaciens* ja *Kluyveromyces marxianus* -hiivalajeja, ja 20 vuorokauden jälkeen *K. marxianus* -kannat olivat dominoivia. Maitohappobakteereista puolestaan *Lactobacillus plantarum* -kantoja esiintyi eniten sekä tuoreessa että 20 vuorokautta varastoidussa herassa. Hiiva- tai maitohappokantojen keskinäiset suhteet eivät muuttuneet varastoinnin aikana. Liemirehussa hiivalajeja esiintyi monipuolisesti, mikä johtui siitä, että heran ja viljaseoksen lajit tulivat molemmat esiin. Todennäköisesti herasta peräisin olevat lajit *K. marxianus* ja *P. membranifaciens* olivat hallitsevia hiivalajeja. Ensiksi mainittu oli hallitsevin fermentoinnin alussa kaikissa testatuissa lämpötiloissa, mutta kun panos uudistettiin, mikään laji ei muodostunut hallitsevaksi. Fermentoinnin edetessä *P. membranifaciens* muodostui hallitsevaksi 15 ja 20 °C:ssa myös silloin, kun panos uudistettiin. *L. plantarum* -laji oli lajimäärältään hallitseva maitohappobakteerilaji kaikissa testatuissa fermentointiosuhteissa.

5. Perunan ja heran sivujakeiden fermentointi: esiselvitys

5.1. Tausta ja tavoite

Perunan ja sen prosessoinnissa syntyvät sivuvirrat luetaan energiarehuihin, koska kuiva-aineesta suurin osa on tärkkelystä. Perunan ja sen sivutuotteiden tärkkelys on sioille ja muille yksimahaisille huonosti sulavaa ja vaatii kypsentämistä, joka rikkoo tärkkelysryvästen rakenteen. Heran kuiva-aineesta suurin osa on laktoosia, joka on myös energian lähde. Perunan ja heran valkuainen on hyvälaatuista, mutta sitä on vähän suhteessa tärkkelykseen. Peruna sisältää haitta-aineita, kuten trypsiini-inhibiittorit ja glykoalkaloidit. Sekä peruna että hera sisältävät runsaasti kaliumia, jonka ylimäärän erittäminen elimistöstä lisää eläimen veden tarvetta. Perunan sivuvirtojen ja heran rehukäytön haasteena on suuri vesipitoisuus. Sikatiloilla on yleisesti liemiruokintalaitteistoja, mutta hyvin vesipitoisten rehujen käyttö on haasteellista kuljetuskustannusten, varastotilojen ja sikojen syöntikyvyn kannalta. Perunan sivuvirtojen käyttöä rajaa myös kausiluontoinen saatavuus. Toisaalta viljaa korvaaville rehukomponenteille on tarvetta, jos rehuviljaa ei ole saatavissa kilpailukykyisellä hinnalla.

Perunan ja sen sivujakeiden rehuarvoa voidaan parantaa fysikaalisilla, kemiallisilla ja biologisilla menetelmillä. Fysikaalisista menetelmistä perinteisin on kuumennus (keittäminen, höyryttäminen, hauduttaminen). Kemialliset menetelmät sisältävät erilaisten orgaanisten happojen käytön. Biologisiin menetelmiin kuuluvat luonnollinen ja hallittu fermentointi (bioprosessointi) mikrobien ja entsyymien avulla.

Maitohappobakteerit ovat lupaavin vaihtoehto perunapulpan, perunarehun ja heran fermentointiin, sillä ne toimivat alhaisessakin lämpötilassa ja niitä pidetään yleisesti turvallisina organismeina (Generally Regarded As Safe, GRAS). Myös luonnollisessa fermentoinnissa säilöntä perustuu todennäköisimmin maitohappobakteerien aiheuttamaan happamuuden lisääntymiseen. Hyvin vähän tutkimustietoa löytyi yksinomaan maitohappobakteerien käytöstä perunan sivuvirtojen säilömisestä hallitun fermentoinnin avulla. Tiettyjä hiiva- ja homekantoja oli testattu lupaavin tuloksin. Toisaalta hiivat voivat aiheuttaa virheikäymistä, joka heikentää rehun maittavuutta ja aiheuttaa sioille ruuansulatushäiriöitä ja syntyy ravintoainetappioita proteiinien ja tärkkelyksen hajotessa hiilidioksidiksi. Lisäksi liemiputkistoissa käymisessä syntyvä kaasu haittaa ruokintaventtiilien toimintaa.

Perunajäte arvotuotteiksi -hankkeen yhtenä tavoitteena oli paikallisten perunan käsittelyn ja juustonvalmistuksen sivujakeiden käsittely fermentointi- ja bioreaktoriteknologioilla rehuraaka-aineiksi laboratoriomittakaavassa. Bioprosessointi toteutettiin fermentointeina. Fermentoinnin tavoitteena oli testata esiselvitystyyppisesti biologisen prosessoinnin vaikutusta sivujakeiden säilyvyyteen ja hygieeniseen laatuun sekä arvioida käyttökelpoisuutta yksimahaisten kotieläinten ravitsemuksessa. Tavoitteena oli nopea, energiaa säästävä prosessi. Hankkeen pääasiallinen tavoite oli testata heran ja perunan sivuvirran käyttöä yhdessä. Kuitenkin lisätyönä testattiin fermentoinnin vaikutusta pelkästään heraan ja perunankuorimassaan.

Ensimmäisen vaiheen pullofermentointien tulosten perusteella valittiin jatkofermentointi toteutettavaksi pilot-mittakaavassa fermentointilaitteistossa. Fermentoinneissa käytettiin pääosin tuoreita raaka-aineita (hera, veitsikuorittu perunankuorimassa). Osassa fermentoinneissa käytettiin lisäksi ohrajauhoa, sillä se on liemirehun perusraaka-aine. Kirjallisuuden perusteella valittiin kaksi erilaista maitohappobakteeriympästä, joissa toisessa oli lisänä natriumbentsoaatti.

5.2. Aineisto ja menetelmät

5.2.1. Mikrobin valinta

Kirjallisuusselvityksen perusteella maitohappobakteerit (MHB) valittiin soveltuviksi hallittuun fermentointiin. Käytettävät MHB-kannat (bakteeriympit) valittiin seuraavin perustein:

- yksinkertainen käyttää
- saavutetaan riittävä happamuus; liemirehussa pH 4,5–5,0
- kaupallinen tai yleisesti käytössä oleva, turvallinen
- toimii matalassa lämpötilassa, kuten huoneenlämmössä
- mieluummin homofermentatiivinen aineenvaihdunta, jolloin aineenvaihduntatuotteena syntyy mm. maitohappoa, mutta ei etikkahappoa
- hiiva- ja homekasvun esto, virheköymisten esto.

Kirjallisuuden perusteella valittiin kaksi erilaista bakteeriympä: Feedtech® Silage F22 (DeLaval) (käytetään jatkossa lyhennystä F22) ja Lyofast LF55 (Sacco) (käytetään jatkossa lyhennystä F55). F22 käytetään säilörehun valmistuksessa. Se sisältää 6 eri maitohappobakteerikantaa: kaksi *Pediococcus acidilactici* P6 -kanta, kaksi *L. plantarum* LSI -kanta, *Lactococcus lactis* Sr3,54 -kannan ja *Enterococcus faecium* M74 -kannan sekä entsyymien (sellulaasi). Lisäksi oli mahdollisuus lisätä natriumbentsoaattia (sallittu säilöntäaine rehuissa). F55 sisältää *Lactobacillus fermentum* -kanta, jota käytetään juustonvalmistuksessa. Molempia bakteeriymppejä lisättiin valmistajan ohjeiden mukaan.

5.2.2. Raaka-aineet ja fermentointiolosuhteet

Raaka-aineina käytettiin pääosin tuoreita, helposti pilaantuvia sivujakeita: perunankuorimassaa (veitsikuorittu) ja heraa. Osassa fermentoinneissa käytettiin lisäksi ohrajauhoa, sillä se on liemirehun perusraaka-aine. Raaka-aineiden osuudet laskettiin kuiva-aineen mukaan painoprosenteina. Edellisenä päivänä toimitetut tuoreet raaka-aineet säilytettiin jääkaapissa +4 °C:ssa ennen käyttöä. Ennakkotiedon mukaan perunankuorimassan kuiva-aine olisi noin 20 % ja heran noin 6 %, jonka tiedon mukaan resepti laskettiin ja toinen mikrobiympästä valittiin sen mukaan. Ennen fermentoinnin aloittamista kuiva-aine kuitenkin mitattiin pikamittarilla kuiva-aineanalysointorilla ja ne varmistettiin lämpökaapissa yön yli +105 °C:ssa. Reseptit laskettiin uudelleen pikamittauksen tulosten perusteella.

Fermentoinnit toteutettiin kaksivaiheisena. Ensimmäisen vaiheen pullofermentointien tulosten perusteella valittiin jatkofermentointi toteutettavaksi pilot-mittakaavassa fermentointilaitteistossa (Biostat C 10-3, Sartorius). Pullofermentoinnit toteutettiin säilöpulloissa, korkit löysästi kierrettynä, inkubointi inkubointikaapissa (Termaks, TS 8136) +22 °C 2 vrk ja 5 vrk. Näytteet tehtiin rinnakkaisina. Näytepulloja sekoitettiin hellävaraisesti kääntämällä pulloja ylösalaisin kaksi kertaa päivässä 2 ensimmäisen vuorokauden ajan, minkä jälkeen niitä ei sekoitettu. Fermentoinneista analysoitiin säilyvyyden ja hygieenisen laadun sekä yksimahaisen kotieläimen ravitsemuksen kannalta olennaisia parametrejä aistinvaraisin, kemiallisin, biokemiallisin ja mikrobiologisin menetelmin.

Fermentoinneista tehtiin seuraavat määritykset:

- kuiva-ainepitoisuus
- proteiinipitoisuus
- tärkkelys
- sokerit (pelkistävät)
- pH
- maitohappopitoisuus
- etikkahappopitoisuus
- hiivojen ja homeiden kokonaismäärä ja
- enterobakteerien määrä.

Fermentoinnin vaikutukset hygieeniseen laatuun ja säilyvyyteen määritettiin happamuuden (pH), maito- ja etikkahapon pitoisuuksien sekä enterobakteerien sekä hiivan ja homeiden määrän perusteella. Lisäksi fermentointituotosten laatua arvioitiin aistinvaraisesti.

Kuiva-ainepitoisuus määritettiin SFS 3008 standardin perusteella, jossa tunnettu määrä näytettä kuivataan 105 °C:een lämpötilassa, ja jäännös punnitaan. Proteiinipitoisuus määritettiin Khejldalmenetelmällä SFS-EN ISO 3188 standardiin perustuen ja pH Veden pH-arvon määrittäminen SFS 3021 standardin perusteella. Tärkkelys määritettiin kolorimetrisellä menetelmällä (Salo ja Salmi 1968) ja vesiliukoiset hiilihydraatit (sokerit) (Somogyi 1945, Salo 1965) käyttäen mittalaitteena spektrofotometriä (Shimadzu UV-VIS mini 1240, Shimadzu Europa GmbH, Duisburg, Saksa). Maitohappopitoisuus määritettiin Megazymen kitillä, D-LACTIC ACID (D-LACTATE) (Rapid) and L-LACTIC ACID (L-LACTATE), K-DLATE (https://secure.megazyme.com/files/Booklet/K-DLATE_DATA.pdf) ja etikkahappopitoisuus Megazymen kitillä, ACETIC ACID (Rapid, Manual, Simple and End-Point AK/PTA Format), K-ACETRM (https://secure.megazyme.com/files/Booklet/K-ACETRM_DATA.pdf). Enterobakteerit määritettiin maljanvalumenetelmällä ja päällevalutekniikalla Violetti-puna-sappi-glukoosi-agarilla (V.R.B.G.A. LAB31, LAB M), jolla saadaan alustava *Enterobacteriaceae* -heimon organismien määrä. Maljat inkuboitiiin aerobisesti 37 °C:ssa 18–24 tuntia. Hiiva- ja homepitoisuudet määritettiin Oksitetrasykliini-glukoosi-hiivauute-agarilla (O.G.Y.E. Agar, LAB89 LAB M). Maljat inkuboitiiin aerobisesti 25 °C:ssa 4–5 vuorokautta.

5.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

5.3.1. Fermentoinnin vaikutukset käymislaatuun

Happamuuden muutos kertoo fermentoinnin edistymisestä ja todennäköisimmin MHB:n toiminnasta, mutta muitakin fermentoivia organismeja voi olla läsnä erityisesti luonnollisessa fermentaatiossa. Happamuus laski kaikissa fermentoinneissa alle liemirehussa tavoitellun rajan, pH 4,5–5,0, jo 2 vuorokauden fermentoinnin jälkeen lukuun ottamatta F22:lla fermentoitua heranäytettä (taulukko 13). Kaikissa pullofermentointinäytteissä pH laski noin pH 4:ään 5 vuorokauden fermentoinnin jälkeen eikä mikrobilisätyjen näytteiden pH eronnut vertailunäytteen (ei mikrobilisäystä, edustaa luonnollista fermentointia) tuloksesta oleellisesti. Todennäköisimmin tämä johtui siitä, että raaka-aineita ei kuumennettu niiden sisältämien mikrobien eliminoimiseksi ennen bakteeriympin lisäämistä energian säästösyistä. Siten ei voida varmasti todeta mikrobilisäysten edullista vaikutusta happamuuden lisääntymiseen. Mikrobilisäys näytti kuitenkin nopeuttavan happamuuden lisääntymistä, sillä pilotfermentoinnissa pH oli jo 10 tunnin fermentoinnin jälkeen 4,5 ja 20 h:n jälkeen 4. Canibe & Jensenin (2012) tutkimuksen mukaan liemirehun (sisältää mm. heraa ja ohraa) luonnollisessa fermentoinnissa 20 °C:ssa pH laski tasolle 4,5 vasta lähes noin 50 tunnin fermentoinnin jälkeen.

Taulukko 13. Happamuuden (pH) muutos tuoreissa näytteissä sekä 2 vrk:n ja 5 vrk:n fermentointien jälkeen.

Fermentointiaika	pH		
	tuore	2 vrk	5 vrk
Hera	6,7	4,9	4,2
Hera + F22		5,4	4,2
Hera + F 55		4,85	4,3
Perunankuorimassa	6	4,6	4,25
Perunankuorimassa + F22		4,3	4,1
Perunankuorimassa + F55		4,5	4,3
Hera + perunankuorimassa		4,2	3,95
Hera + perunankuorimassa + F22		4,2	3,95
Hera + perunankuorimassa + F55		4,2	3,95
Hera + perunankuorimassa + ohra		4,1	3,9
Hera + perunankuorimassa + ohra + F22		4,2	4,0
Hera + perunankuorimassa + ohra + F55		4,1	3,9
Pilotti: hera + perunankuorimassa + ohra + F 22	5,8	4,0	3,8

Fermentoinnin edetessä orgaanisten happojen määrä yleensä lisääntyy ja pH laskee. Luonnollisissa fermentaatioissa voi olla läsnä aineenvaihdunnaltaan pelkästään maitohappoa (homofermentatiivinen) ja/tai maito- ja etikkahappoa (heterofermentatiivinen) tuottavia mikrobeja. Tässä tutkimuksessa bakteeriympit sisälsivät homofermentatiivisia MHB:a.

Maitohapon määrä vaihteli testatuissa näytteissä 0,03–3,93 mg/kg kuiva-ainetta. Kumpikaan käytetyistä bakteeriympistä ei lisännyt maitohapon tuottoa hera- tai hera-perunankuorimassa- tai hera-perunankuorimassa-ohrafermentaatioissa 2 vuorokauden fermentointien jälkeen bakteeriympistä sisältämättömään näytteeseen verrattuna (taulukko 14).

Taulukko 14. Maito- ja etikkahappopitoisuudet tuoreissa näytteissä sekä 2 vrk:n ja 5 vrk:n fermentointien jälkeen mg/ kg ka.

Fermentointiaika	Maitohappopitoisuus, mg/ kg ka			Etikkahappopitoisuus, mg/ka ka		
	tuore	2 vrk	5 vrk	tuore	2 vrk	5 vrk
Hera	0,86	3,11	1,05	0	0	0
Hera + F22		2,17	-0,07		0	0
Hera + F 55		0,75	2,45		0	0
Perunankuorimassa	0,03	0,48	ei tehty	0	0	0
Perunankuorimassa + F22		1,31	ei tehty		0,99	ei tehty
Perunankuorimassa + F55		1,10	ei tehty		0,97	ei tehty
Hera + perunankuorimassa	0,23*	3,93	0,74	0	3,49	1,71
Hera + perunankuorimassa + F22		1,76	1,17		0	0
Hera + perunankuorimassa + F55		1,11	2,44		0	0
Hera + perunankuorimassa + ohra	0,17*	1,67	1,38	0	0	6,54
Hera + perunankuorimassa + ohra + F22		0,67	1,76		0	4,86
Hera + perunankuorimassa + ohra + F55		1,54	0,56		0	7,18
Pilotti: hera + perunankuorimassa + ohra + F 22	0,06*	ei tehty	0,55	0	ei tehty	0

*laskennallinen

Kumpikaan käytetyistä bakteeriympöistä ei lisännyt maitohapon tuottoa herä- tai herä-perunankuorimassa- tai herä-perunankuorimassa-ohrafermentaatioissa 2 vuorokauden fermentointien jälkeen bakteeriympöä sisältämättömään näytteeseen verrattuna (taulukko 14). Sen sijaan F55 käytettäessä maitohapon määrä lähes kolminkertaistui herän ja lisääntyi yli 3-kertaiseksi herä-perunankuorimassa-fermentaatioissa bakteeriympöä sisältämättömään näytteeseen verrattuna 5 vuorokauden fermentoinnin jälkeen. Perunankuorifermentaatioissa molemmat käytetyt bakteeriympöt lisäsivät maitohapon tuoton noin 2–3 -kertaisesti bakteeriympöä sisältämättömään näytteeseen verrattuna 2 vuorokauden fermentoinneissa. Herä-perunankuorimassa-ohrafermentaatioissa 5 vuorokauden fermentointien jälkeen F22 lisätyssä näytteessä maitohapon määrä oli noin 1,3 -kertainen bakteerittomaan näytteeseen verrattuna.

Odotetusti etikkahappoa ei esiintynyt raaka-aineena herää sisältävissä fermentoinneissa. Perunankuorimassa ilmeisesti sisälsi heterofermentatiivisia kantoja sisäsyntyisesti, mikä näkyi etikkahapon tuottona; etikkahapon määrä vaihteli 0,97–7,18 mg/kg ka. Kuitenkin molemmat lisätyt bakteeriympöt näyttivät ehkäisseen niiden kasvun herä-perunankuorimassa-yhdistelmän fermentaatioissa. Sen sijaan herä-perunankuorimassa-ohra -yhdistelmän fermentaatioissa lisätyt bakteeriympöt eivät estäneet heterofermentatiivisten mikrobien kasvua.

5.3.2. Fermentoinnin vaikutus mikrobiologiseen laatuun

Perunan luonnollinen mikrobifloora on runsas ja monipuolinen sisältäen myös ihmisen ja eläinten kannalta patogeenisiä organismeja; siihen vaikuttavat maasta ja ilmasta tulevat mikrobit, maanviljelykäytännöt, korjuumenetelmät ja varastointiolosuhteet. Prosessoitujen tuotteiden mikrobisto voi olla edellistäkin runsaampi, sillä siihen vaikuttavat kaikkien edellä mainittujen tekijöiden ja olosuhteiden lisäksi tuotteen läpikäymät prosessit. Esimerkiksi kuorituista ja paloitelluista perunoista on eristetty monenlaisia bakteereita (mm. enterobakteerit) sekä hiivoja ja homeita (Doan & Davidson 2000), joita siten väistämättä löytyy perunan sivuvirroistakin, kuten perunankuorimassasta.

Enterobakteerien esiintyminen prosessoiduissa elintarvikkeissa on merkki kontaminaatiosta. Toisaalta mikäli esimerkiksi juustohera menee rehuksi, ei sen laatuun ehkä panosteta samalla tavoin kuin elintarvikekäyttöön menevän heran laatuun. Rehutarkoitukseen käytettävässä eläinalkuperää olevassa rehuvalmisteessa ei saa esiintyä *Enterobacteriaceae* -suvun bakteereita enempää kuin korkeintaan 300 per gramma rehua (MMM päätös haitallisista aineista ja eliöistä rehuissa 184/1994 <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1994/19940184>). Hiivat puolestaan voivat aiheuttaa virheikäymistä, joka heikentää rehun maittavuutta ja aiheuttavat sioille ruuansulatushäiriöitä ja ravintoainetappioita proteiinien ja tärkkelyksen hajotessa hiilidioksidiksi. Lisäksi liemiruokinnassa putkistoissa syntyvä kaasu haittaa venttiilien toimintaa.

Tämän esiselvityksen tulosten mukaan enterobakteereja esiintyi 2 vrk:n fermentoinnin jälkeen runsaasti, vaikka tuoreissa raaka-aineissa niitä ei olisi havaittu juuri lainkaan, ja 5 vrk:n fermentoinnin jälkeen enterobakteerien määrä vähentyi merkittävästi (taulukko 15). Erityisesti perunankuorimassan fermentoinneissa F22 näytti estävän tehokkaasti enterobakteerien kasvua 2 vrk:n fermentoinnin jälkeen.

F55 puolestaan näytti estävän enterobakteerien kasvua 2 vrk:n fermentoinnin jälkeen perunankuorimassaa, heraa ja ohraa sisältävissä näytteissä, mutta ei 5 vrk:n fermentoinnissa vertailunäytteeseen (HPO) verrattuna. Perunankuorimassaa ja heraa sisältävissä näytteissä estovaikutusta ei näyttänyt olevan. Sen sijaan F22 näytti estävän enterobakteerien kasvua sekä 2 vrk:n että 5 vrk:n fermentoinnin jälkeen perunankuorimassaa, heraa ja ohraa sisältävissä näytteissä. Koska myös F 22 -bakteeriymppeä sisältämättömässä näytteessä (HPO) enterobakteerien määrä oli vähentynyt oleellisesti 5 vrk:n fermentoinnin jälkeen, ei voida todeta, johtuiko vähentyminen bakteeriympin lisäyksestä. Lisäksi F 22 -ymppeä sisälsi myös natriumbentsoaattia, joka osaltaan ehkäisee enterobakteerien kasvua. Canibe & Jensenin (2012) tutkimuksen mukaan liemirehun (sisältää mm. heraa ja ohraa) luonnollisessa fermentoinnissa 20 °C:ssa *Enterobacteriaceae* -suvun bakteerien (pääasiassa koliformien) määrä saavuttaa huippunsa 24 tunnin fermentoinnin jälkeen. Sen jälkeen niiden määrä laskee, koska orgaanisten happojen määrä kasvaa ja pH alenee.

Tämän esiselvityksen tulosten mukaan F55 ei näyttänyt estävän hiivojen ja homeiden kasvua. Sen sijaan F22 näytti estävän hiivojen ja homeiden kasvua sekä 2 vrk:n että 5 vrk:n fermentoinnin jälkeen molemmissa sekä perunankuorimassaa ja heraa että perunankuorimassaa, heraa ja ohraa sisältävissä näytteissä. Todennäköisimmin mikrobien kasvun estyminen johtui natriumbentsoaatin vaikutuksesta eikä niinkään MHB:n tuottamien orgaanisten happojen aiheuttamasta happamuuden lisääntymisestä.

Taulukko 15. Enterobakteerien sekä hiivojen ja homeiden pitoisuudet (pesäkettä muodostavaa yksikköä/g, pmy/g) tuoreissa näytteissä sekä 2 vrk:n ja 5 vrk:n fermentointien jälkeen.

Fermentointiaika	Enterobakteerit, pmy/g			Hiivat ja homeet, pmy/g		
	tuore	2 vrk	5 vrk	tuore	2 vrk	5 vrk
Hera	< 100*	> 10000	156500	< 100	>300000	215000
Hera + F22		50000	22500		ei tehty	< 1000**
Hera + F 55		> 10000	77500		18000	475000
Perunankuorimassa	100	77500	< 1000	4500	8000	530000
Perunankuorimassa + F22		< 100*	2000		16000	430000
Perunankuorimassa + F55		27000	9500		16000	700000
Hera + perunankuorimassa	400	135000	1000	215000	70000000	110000000
Hera + perunankuorimassa + F22		500000	1000		38000000	42000000
Hera + perunankuorimassa + F55		>3000000	1000		120000000	64000000
Hera + perunankuorimassa + ohra	325	>3000000	1000	255000	11000000	71000000
Hera + perunankuorimassa + ohra + F22		550	1000		63000000	21000000
Hera + perunankuorimassa + ohra + F55		21500	1000		200000000	27000000
Pilotti: hera + perunankuorimassa + ohra + F 22	300	ei tehty	<100	200000	67000000	30100000

* määrittäysraja < 100 pmy/g

** määrittäysraja < 1000 pmy/g

5.3.3. Fermentoinnin vaikutus aistinvaraiseen laatuun

Maittavuus on tärkeä tekijä eläimen riittävän rehun syönnin kannalta. Pullofermentoinneista arvioitiin aistinvaraisesti ulkonäkö ja haju sekä 2 että 5 vuorokauden fermentointien jälkeen ja pilottifermentoinnista 5 vuorokauden fermentoinnin jälkeen. Arvioinnin tulokset ja kuvat näytteistä on esitetty liitteessä 1. Aistinvaraisesti arvioituna raaka-aineet ja seokset, joissa bakteeriympinä käytettiin F22:a, poikkesivat edukseen muista näytteistä; niissä haju oli raikas ja väri vaalea ja/tai massa tasainen ja juokseva.

5.3.4. Fermentoinnin vaikutus proteiini-, tärkkelys- ja sokeripitoisuuteen

Tämän esiselvityksen mukaan bakteeriympien lisäys ei näyttäisi olennaisesti lisäävän proteiinipitoisuutta bakteeriymppejä sisältämättömiin näytteisiin verrattuna. Ympien vaikutus oli eri raaka-aineilla jossain määrin erilainen (kuvat 1 ja 2). Proteiinipitoisuus voilisääntyä fermentoinnin edetessä myös luonnollisessa fermentoinnissa mikrobien määrän kasvaessa.

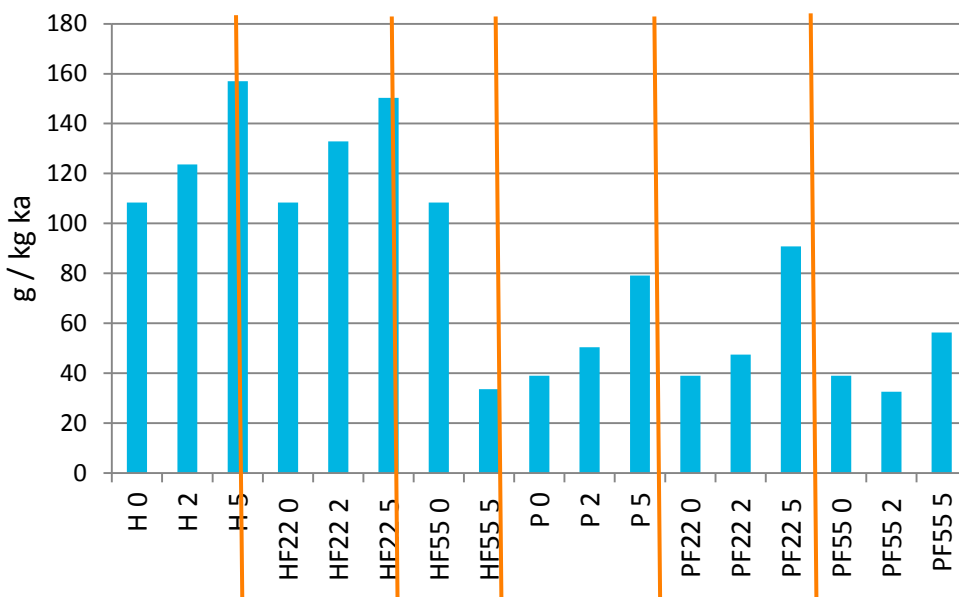
Herafermentoinneissa F22 lisäys ei vaikuttanut näytteiden proteiinipitoisuuteen, mutta F55 (HF55 5) laski proteiinipitoisuutta noin kolminkertaisesti vertailunäytteeseen verrattuna (HF55 0). Syytä ei tiedetä. Perunankuorimassan fermentoinneissa proteiinipitoisuus kasvoi noin kaksinkertaiseksi 5 vuorokauden fermentoinneissa vertailunäytteissä (ei bakteerilisäystä) sekä F22 käytettäessä. Näytti siltä, että F22 ei lisännyt proteiinipitoisuutta, kun taas F55 käytettäessä proteiinipitoisuus laski 2 vuorokauden fermentoinnin jälkeen.

Vaikka pelkän heran tai perunankuorimassan fermentoinneissa F22 näytti toimivan paremmin, hera-perunankuorimassafermentoinneissa F55 näytti toimivan paremmin: proteiinipitoisuus näytteessä HPF55 5 oli hieman korkeampi kuin näytteessä HP 5. Hera-perunankuorimassa-ohrafermentoinneissa kummankaan bakteeriympin käyttö ei lisännyt proteiinipitoisuutta.

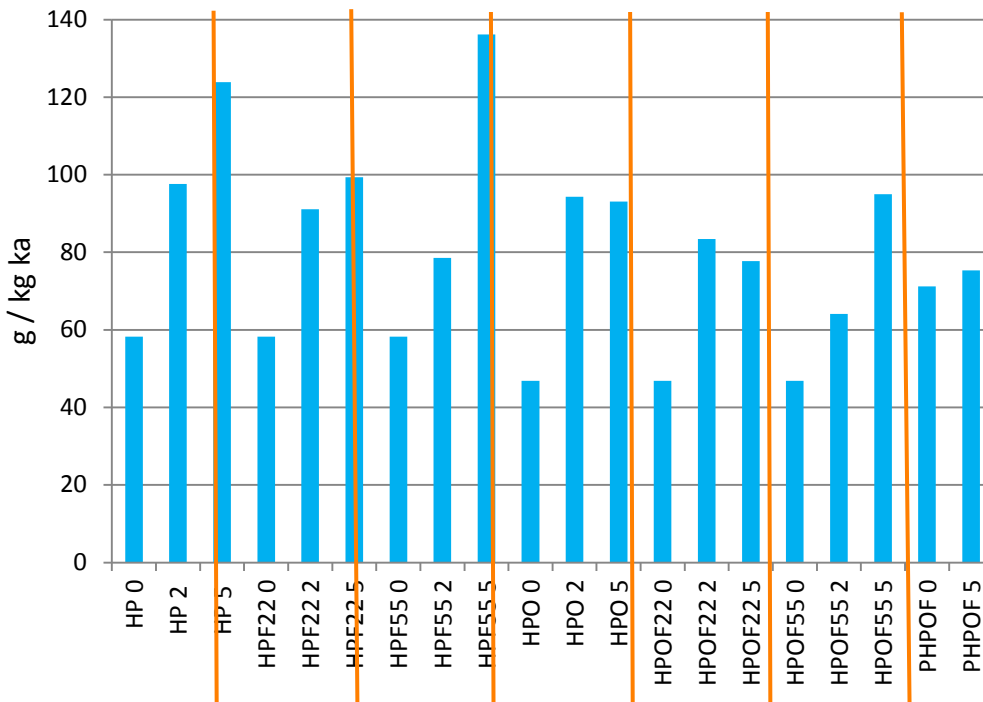
Yksimahaiset kotieläimet eivät pysty sulattamaan kypsentämättömän perunan tärkkelystä kovin hyvin. Tässä esiselvityksessä ei ollut resursseja sulavuuden määrittämiseen. Fermentoinnin vaikutusta

arvioitiin tärkkelys- ja sokeripitoisuuksien muutosten avulla hera-perunankuorimassa -yhdistelmän ja hera-perunankuorimassa-ohra -yhdistelmän fermentaatioissa, ja bakteeriympinä käytettiin F22:a, koska se näytti estävän enterobakteerien sekä hiivojen ja homeiden kasvua.

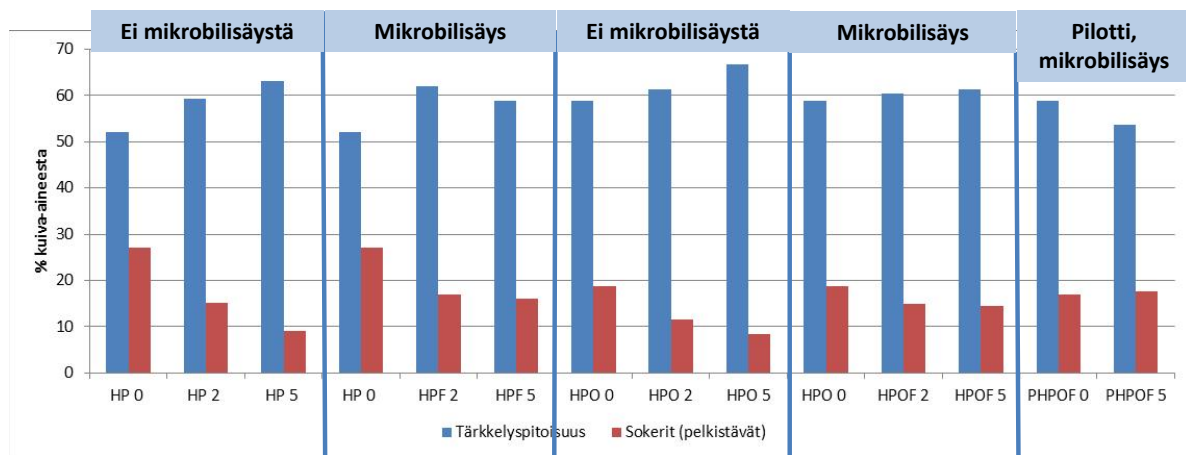
Fermentoinneilla ei ollut suurta vaikutusta tärkkelys- ja sokeripitoisuuksiin testatuissa fermentointiolosuhteissa. Pullofermentoinneissa sokeripitoisuus pieneni, mutta ei juuri muuttunut pilotfermentoinnissa. Havaittiin viitteitä siitä, että sokeripitoisuus laski vähemmän luonnolliseen fermentointiin verrattuna F22:a käytettäessä (kuva 3). Vaikutusten vähäisyyteen todennäköisesti vaikuttivat lyhyt fermentointiaika sekä raaka-aineiden, varsinkin perunankuorimassan, alhainen kuiva-ainepitoisuus (perunankuorimassa 12,3 %, hera 8,3 %). Tässä pilot-testauksessa pyrittiin mahdollisimman yksinkertaiseen prosessiin, jolloin perunankuorimassa käytettiin sellaisenaan eikä siitä poistettu vettä ennen fermentointia.



Kuva 1. Fermentointien vaikutukset proteiinipitoisuuksiin. Näytteet: H 0 (Hera 0 vrk), H 2 (Hera 2 vrk), H 5 (Hera 5 vrk), HF22 0 (Hera + F22 0 vrk), HF22 2 (Hera + F22 2 vrk), HF22 5 (Hera + F22 5 vrk), HF55 0 (Hera + F55 0 vrk), HF55 5 (Hera + F55 5 vrk), P 0 (Perunankuorimassa 0 vrk), P 2 (Perunankuorimassa 2 vrk), P 5 (Perunankuorimassa 5 vrk), P F22 0 (Perunankuorimassa + F22 0 vrk), PF22 2 (Perunankuorimassa + F22 2 vrk), PF22 5 (Perunankuorimassa + F22 5 vrk), PF55 0 (Perunankuorimassa + F55 0 vrk), PF55 5 (Perunankuorimassa + F55 5 vrk).



Kuva 2. Fermentointien vaikutukset proteiinipitoisuuksiin. Näytteet: HP 0 (Hera + perunankuorimassa 0 vrk), HP 2 (Hera + perunankuorimassa 2 vrk), HP 5 (Hera + perunankuorimassa 5 vrk), HPF 22 0 (Hera + perunankuorimassa + F22 0 vrk), HPF 22 2 (Hera + perunankuorimassa + F22 2 vrk), HPF 5 (Hera + perunankuorimassa + F22 5 vrk), HPO 0 (Hera + perunankuorimassa + ohra 0 vrk), HPO 2 (Hera + perunankuorimassa + ohra 2 vrk), HPO 5 (Hera + perunankuorimassa + ohra 5 vrk), HPOF22 0 (Hera + perunankuorimassa + ohra + F22 0 vrk), HPOF22 2 (Hera + perunankuorimassa + ohra + F22 2 vrk), HPOF22 5 (Hera + perunankuorimassa + ohra + F22 5 vrk), HPOF55 0 (Hera + perunankuorimassa + ohra + F55 0 vrk), HPOF55 2 (Hera + perunankuorimassa + ohra + F22 2 vrk), HPOF55 5 (Hera + perunankuorimassa + ohra + F22 5 vrk), PHPOF (0 Pilotti 0 vrk, Hera + perunankuorimassa + ohra + F22) ja PHPOF 5 (Pilotti 5 vrk Hera + perunankuorimassa + ohra + F22).



Kuva 3. Fermentointien vaikutukset tärkkelys- ja sokeripitoisuuksiin. Näytteet: HP 0 (Hera + perunankuorimassa 0 vrk), HP 2 (Hera + perunankuorimassa 2 vrk), HPF 2 (Hera + perunankuorimassa + F22 2 vrk), HP 5 (Hera + perunankuorimassa 5 vrk), HPF 5 (Hera + perunankuorimassa + F22 5 vrk), HPO 0 (Hera + perunankuorimassa + ohra 0 vrk), HPO 2 (Hera + perunankuorimassa + ohra 2 vrk), HPOF 2 (Hera + perunankuorimassa + ohra + F22 2 vrk), HPO 5 (Hera + perunankuorimassa + ohra 5 vrk), HPOF 5 (Hera + perunankuorimassa + ohra + F22 5 vrk), PHPOF (0 Pilotti 0 vrk, Hera + perunankuorimassa + ohra + F22) ja PHPOF 5 (Pilotti 5 vrk Hera + perunankuorimassa + ohra + F22).

5.4. Johtopäätökset ja soveltuvuus käytäntöön

Fermentoinnin tavoitteena oli testata esiselvitystyyppisesti biologisen prosessoinnin vaikutusta perunan jalostusprosesseissa ja juustonvalmistuksessa syntyneiden sivujakeiden säilyvyyteen ja hygieniaan laatuun sekä käyttökelpoisuuteen yksimahaisten kotieläinten ravitsemuksessa. Tavoitteena oli nopea, energiaa säästävä prosessi.

Ensimmäisen vaiheen pullofermentointien tulosten perusteella valittiin jatkofermentointi toteutettavaksi pilot-mittakaavassa fermentointilaitteistossa. Fermentoinneissa käytettiin pääosin tuoreita raaka-aineita (hera, veitsikuorittu perunankuorimassa). Osassa fermentoinneissa käytettiin lisäksi ohrajauhoa, sillä se on liemirehun perusraaka-aine. Lisätyönä testattiin pulloissa fermentoinnin vaikutusta pelkästään heraan ja perunankuorimassaan. Kirjallisuuden perusteella valittiin kaksi erilaista maitohappobakteeriympästä (MHB), joissa toisessa oli lisänä natriumbentsoaatti.

Tulosten mukaan mikrobilisäys vaikutti nopeuttavan pH:n alenemista. Odotetusti etikkahappoa ei esiintynyt raaka-aineena heraa sisältävissä fermentoinneissa. Molemmat lisätyt bakteeriympästä näyttivät ehkäisseen heterofermentatiivisten MHB:n etikkahapon tuottoa hera-perunankuorimassayhdistelmän fermentaatioissa. Hera-perunankuorimassa-ohra -yhdistelmän fermentaatioissa lisätyt MHB:t eivät estäneet heterofermentatiivisten mikrobien kasvua.

Enterobakteereja esiintyi 2 vrk:n fermentoinnin jälkeen runsaasti, vaikka tuoreissa raaka-aineissa niitä ei havaittu juuri lainkaan, mutta 5 vrk:n fermentoinnin jälkeen enterobakteerien määrä vähentyi merkittävästi. Hiivojen ja homeiden määrään vaikutti todennäköisimmin käytetty natriumbentsoaattilisäys kuin orgaanisten happojen aiheuttama happamuuden lisääntyminen.

Fermentointi ei juuri vaikuttanut tärkkelys-, sokeri ja raakavalkuaispitoisuuteen testatuissa fermentointiolosuhteissa, mutta näytti olevan viitteitä siitä, että sokeripitoisuus pieneni maltillisemmin MHB:a käytettäessä kasvaisi luonnolliseen fermentointiin verrattuna. Ympäristön vaikutus proteiinipitoisuuteen vaihteli fermentoitavan näytteen mukaan. Suunniteltuihin *in vitro*-sulavuustesteihin ei ollut resursseja, joten fermentoinnin mahdollinen hyöty sulavuuden kannalta jäi osoittamatta. Tulosten mukaan maitohappobakteerien käyttö näyttäisi edistävän pH:n alenemista heraa ja perunankuorimassaa sisältävässä liemirehussa. Perunankuorimassan rakenne muuttui juoksevammaksi jo 2 vrk fermentoinnissa. Erityisesti 5 vrk pilot-fermentoinnissa massa oli tasaista eikä yksittäisiä kuoren osia ollut havaittavissa.

Rehujen bioprosessoinnin testauksissa ongelmia aiheutti perunankuorimassan ennakoitua huomattavasti pienempi kuiva-ainepitoisuus. Esitiedon mukaan kuiva-ainepitoisuus oli noin 20 %. Toinen bioprosessointiin käytetyistä mikrobeista valittiin tämän tiedon perusteella. Testaukseen toimitetun perunankuorimassan kuiva-ainepitoisuus olikin huomattavasti pienempi (noin 12 %). Koska tavoitteena oli yksinkertainen prosessi, vettä ei poistettu massasta. Perunankuorimassan odotettua alhaisempi kuiva-ainepitoisuus vaikutti todennäköisesti merkittävästi bioprosessoinnin tuloksiin. Massan kuiva-ainepitoisuuden vakiointi voisi olla eduksi fermentoinnin toteutukselle.

Heran ja perunarehun yhdistäminen liemirehukseksi voisi olla potentiaalinen myös sikojen rehukäytön kannalta. Silloin syntyy säästöä mm. säiliökustannuksissa. Märkien sivuvirtojen, joiden kuiva-ainepitoisuus on alle 15 %, kuljetusmatka tilalle tulisi olla mahdollisimman lyhyt. Kun perunan sivuvirtaa ei ole saatavilla, tilalla voisi korvaavasti lisätä heran käyttöä. Tuotepolun etenemisen kannalta seuraava vaihe olisi pilottitilan löytäminen yhteistyössä rehualan yritysten kanssa. Tilalla tulisi olla fermentointiin soveltuva ruokintaketju tai sen tulisi olla sinne edullisesti rakennettavissa. Käytettävät rehuaineet ovat hyvin tunnettuja, joten pilottitilalla tulisi selvittää fermentoinnin optimointi (kuiva-aine, aika, lämpötila), rehun maittavuus ja käyttömäärä sioille. Käyttömäärät ovat todennäköisesti aikaisemman tutkimuksen perusteella noin 10 % ja korkeintaan 15 % rehun kuiva-aineesta. Sivujakeiden käyttöä rajoittaa mm. suuri kaliumpitoisuus. Jos menetelmä toimii pilottitilalla, on mahdollisuuksia laajentaa markkinointia muillekin tiloille.

Tässä esiselvityksessä käytettyjä bakteeriympästä ei ole tietyvästi aikaisemmin käytetty perunan jatkojalostuksen ja juustontuotannon sivuvirtojen bioprosessoinnissa, joten tuotettu tieto on

täysin uutta. Näyttäisi siltä, että käytetyistä bakteeriympöistä F22 olisi käyttökelpoisempi. Se ei kuitenkaan ole tarkoitettu käytettäväksi lyhytkestosiin fermentointeihin. Sen sijaan sitä kannattaisi kuitenkin testata (sivuvirta)raaka-aineissa, joiden kuiva-ainepitoisuus on korkeampi ja/tai fermentointiaika pidempi mieluummin useita viikkoja. Olennaista olisi selvittää fermentoinnin vaikutus perunan tärkkelyksen sulavuuteen ja haitta-aineiden määrään. Kirjallisuuden perusteella erilaisten mikrobien yhdistäminen fermentoinnissa on antanut lupaavia tuloksia perunan sivujakeiden säilönnässä yksimahaisten kotieläinten rehuksi, mutta aiheesta tarvitaan lisää tutkimusta.

6. Viitteet

- Abe, A., Sone, T., Sujaya, T., Saito, K., Oda, Y., Asano, K. & Tomita, F. 2003. rDNA its sequence of *Rhizopus oryzae*: its application to classification and identification of lactic acid producers. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 67: 1725–1731.
- Ahokas M., Välimaa, A.-L., Kankaala, A., Lötjönen, T. & Virtanen, E. 2012. Perunan ja juuresten sivuvirtojen arvo-komponenttien hyötykäyttö. MTT Raportti 67, 49 s. ISBN: 978-952-487-410-6.
<http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti67.pdf>
- Andersson, KH., Andersson, K., Zamaratskaia, G., Rydhmer, L., Chen, G. & Lundström, K. 2005. Effect of single-sex or mixed rearing and live weight on performance, technological meat quality and sexual maturity in entire male and female pigs fed raw potato starch. *Acta Agriculturae Scandinavica section A – Animal Science* 55: 80–90.
- Bacha, U., Nasi, M., Khaliq A., Anjum, A.A. & Jabba, R.M.A. 2011. Comparative assessment of various agro-industrial wastes for *Saccharomyces Cerevisiae* biomass production and its quality evaluation as single cell protein. *Journal of Animal and Plant Sciences* 21: 844–849.
- Bakker, G.C.M., Dekker, R.A., Jongbloed, R. & Jongbloed, A.W. 1998. Non-starch polysaccharides in pig feeding. *Veterinary Quarterly*, 20 suppl. 3: 59–64.
- Berg, H. 1986. Turkistietoutta turkiseläinkasvattajille, Suomen Turkiseläinten Kasvattajain Liitto ry, Turkiseläinlaboratorio, Turkiseläintutkimuksia 23: 43.
- Boros D., Marquardt, R.R., Guenter, W. & Brufau, J. 2002. Chick adaptation to diets based on milling fractions of rye varying in arabinoxylans content. *Animal Feed Science and Technology* 101: 135–149.
- Burlingame, B., Mouillé, B. & Charrondière, R. 2009. Nutrients, bioactive non-nutrients and anti-nutrients in potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis* 22: 494–502.
- Canibe, N. & Jensen, B.B. 2012. Fermented liquid feed – Microbial and nutritional aspects and impact on enteric diseases in pigs. *Animal Feed Science and Technology* 173: 17–40.
- Cortamira, O., Gallego, A. & Kim, S. W. 2000. Evaluation of twice decorticated sunflower meal as a protein source compared with soybean meal in pig diets. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 13: 1296–1303.
- Doan, C.H. & Davidson, P.M. 2000. Microbiology of potatoes and potato products: A review. *Journal of Food Protection* 63: 668–683.
- Dybing, E., Farmer, P.B., Andersen, M., Fennell, T.R., Lalljie, S.P.D., Müller, D.J.G., Olin, S., Petersen, B.J., Schlatter, J., Scholtz, G., Scimeca, J., Slimani, N., Törnqvist, M., Tuijelaars, S. & Verger, P. 2005. Human exposure and internal dose assessment of acrylamide on food. *Food and Chemical Toxicology* 43: 365–410.
- Edwards, S.A., Fairbairn, C.B. & Capper, A.L. 1986. Liquid potato feed for finishing pigs: Feeding value, inclusion rate storage properties. *Animal Feed Science and Technology* 15: 129–139.
- Edwards, S.A. & Livingstone, R.M. 1990. Potato and potato products. Thacker P. A. & Kirkwood R. N. (toim.). *Nontraditional Feed Sources for use in Swine Production* s. 305–314. Stoneham: Butterworth Publishers. ISBN 0-409-90190-3.
- Evapig® 2014. Calculator of energy, amino acid and phosphorus values of ingredients and diets for growing and adult pigs. <http://www.evapig.com/x-home-en>
- Fernando, P.S., Rose, S.P., Mackenzie, A.M. & Silva, S.S.P. 2011. Effect of diets containing potato protein or soya bean meal on the incidence spontaneously occurring subclinical necrotic enteritis and the physiological response in broiler chicken. *British Poultry Science* 52: 106–114.
- Friedman, M. 2006. Potato glycoalkaloids and metabolites: roles in the plant and in the diet. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 54: 8655–8681.
- Friend, D.W., Cunningham, H.M. & Nicholson, J.W.G. 1963. The feeding value of dried potato pulp for pigs. *Canadian Journal of Animal Science* 43: 141–151.
- Gelinas, P. & Barrette, J. 2007. Protein enrichment of potato processing waste through yeast fermentation. *Biore-source Technology* 98: 1138–1143.
- Gdala J., Jansman, A.J.M., Leeuwen van P., Huisman, J. & Verstegen, M. W. A. 1996. Lupins (*L. luteus*, *L. albus*, *L. angustifolius*) as a protein source for young pigs. *Animal Feed Science and Technology* 62: 239–249.
- Hackl, W. 1996. Feeding value and use of fresh preserved potato protein for fattening pigs. *Landbauforschung Volkenrode*, Sonderheft: 185.
- Halle I., Ihling M., Lahrssen-Wiederholt M., Klaffke H. & Flachowsky G. 2006. Carry-over of acrylamide from feed (heated potato product) to eggs and body tissues of laying hens. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* 1: 290–293.
- Helsky, T., Anttalainen, M., Palviainen, S., Kempainen, P., Lehto, M. Salo, T., Mäkelä, M. & Tuominen, T. & Piilo, T. 2006. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) perunan ja juuresten koneellisessa kuorinnassa ja käsittelyssä. Suomen Ympäristö 57. 91 s. ISBN 952-11-2499-7. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/38798>
- Hälinen, E. 2005. Perunajätteen hyödyntäminen ja käyttö rehuna. Savonia ammattikorkeakoulu, Maaseutuala, Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma, Yritystalouden suuntautumisvaihtoehto, Iisalmi. Opinnäytetyö. 22 s.+ liitteet.
- Kerr C. A., Goodband R.D., Smith JW. II, Musser RE., Bergstrom JR., Nessmith WB. Jr, Tokach MD. & Nelssen JL. 1998. Evaluation of potato proteins on the growth performance of early-weaned pigs. *Journal of Animal Science* 76: 3024–3033.

- Kito, H., Abe, A., Sujaya, I-N., Oda, Y., Asano, K. & Sone, T. 2009. Molecular characterization of the relationships among *Amylomyces rouxii*, *Rhizopus oryzae*, and *Rhizopus delemar*. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 73: 861–864.
- Kortelainen T., Sepponen J., Siljander-Rasi H. & Koskinen N. 2014. Käsitellyn eläinvalkuaisen (luokka 3), lihaluu-jauhon (luokka 2), hydrolysoidun höyhenjauhon sekä perunarehun sulavuusmääritykset siniketuilla. Loppu-raportti. MTT. Kotieläintuotannon tutkimus. 24 s.
- Koskinen N., Taipale, J., Sepponen, J. & Rekilä, T. 2007. Perunankuoriraa sinikettujen ruokinnassa. Loppuraport-ti. MTT. Kotieläintuotannon tutkimus. 13 s.
- Kärenlampi, S.O. & White, P.J. 2009. Potato proteins, lipids, and minerals. Singh J. & Kaur L. (toim.). *Advances in potato chemistry and technology*. Academic Press. s. 99–125.
- Lee, T-T., Huang, Y-F., Chiang, C-C., Chung, T-K., Chiou, P. & Yu, B. 2011. Starch characteristics and their influ-ences on In vitro and pig prececal starch digestion. *Journal of Agricultural and Food chemistry* 59: 7353–7359.
- Lehto M., Salo, T., Sorvala, S., Kemppainen, R., Vanhala, P., Sipilä, I. & Puumala, M. 2007. Peruna- ja juures-kuorimon jätteet ja jätevedet. Maa- ja elintarviketalous 94. 77 s. ISBN 978-952-487-083-2. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/464188>
- Lei H., Wang, H., Ning, T., Hao, W. & Xu, C. 2012. Protein enrichment of potato starch residue by solid state fermentation with mixed strains. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 11: 2700–2705.
- Li, P.F., Xue, L.F., Zhang, R.F., Piao, X.S., Zeng, Z.K. & Zhan, J.S. 2011. Effects of fermented potato pulp on performance, nutrient digestibility, carcass traits and plasma parameters of growing-finishing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 24: 1456–1463.
- Losel, D., Lacorn, M., Buttner, D., & Claus, R. 2006. Flavor improvement in pork from barrows and gilts via inhibi-tion of intestinal skatole formation with resistant potato starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 5990–5995.
- Luke 2015. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. Märehtijät – Siat – Siipikarja – Hevoset. Luonnonvara- ja biota-louden tutkimus 40/2015. ISBN 978-952-326-054-2. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/486395/luke-luobio_40_2015.pdf?sequence=4
- Luke 2016. Turkiseläinten rehutaulukot 2016. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Rehutaulukot/Rehutaulukot/turkiselaimet/Turkisel%C3%A4inten%20rehutaulukko%202016.pdf>
- Martinez-Puig, D., Pérez, J.F., Castillo, M., Andaluz, A., Anquita, M., Morales, J. & Gasa, J. 2003. Consumption of raw potato starch increased colon length and fecal excretion of purine bases in growing pigs. *Nutrient Metabolism* 133: 134–139.
- Mayer, A.S., Dam, P.B. & Lærke, H.N. 2009. Enzymatic solubilization of a pectinaceous dietary fiber fraction from potato pulp: Optimization of the fiber extraction process. *Biochemical Engineering Journal* 43: 106–112.
- Mayer, F. & Hillebrandt, J.O. 1997. Potato pulp: microbiological characterization, physical modification, and appli-cation of this agricultural waste product. *Applied Microbiology and Biotechnology* 48: 435–440.
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A. & Wilkinson, R.D. 2010. *Animal Nutrition*. 7th ed. www.itpnews.com/magazines/pdf/ITP_Animal%20Nutrition.pdf
- Missotten, J.A.M., Degroote, J., De Smet, S. 2015. Fermented liquid feed for pigs: an ancient technique for the future. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 6:4 1–9.
- Oda, Y., Saito, K., Yamauchi, H. & Mori, M. 2002. Lactic acid fermentation of potato pulp by the fungus *Rhizopus oryzae*. *Current Microbiology* 45: 1–4.
- Ohh, S.H., Shinde, P.L., Choi, J.Y., Hahn, T-W., Lim, H.T., Kim, G.Y., Park, Y., Hahn, K-S. & Chae, B.J. 2009. Potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Gogu valley) protein as an antimicrobial agent in the diets of broilers. *Poultry Science* 88: 1227–1234.
- Okine, A., Hanada, M., Aibibula, Y. & Okamoto, M. 2005. Ensiling of potato pulp with or without bacterial inocu-lants and its effect on fermentation quality, nutrient composition and nutritive value. *Animal Feed Science and Technology* 121: 329–343.
- Olstorpe, M., Lyberg, K., Lindberg, J. E., Schnürer, J., Passoth, V. 2008. Population diversity of yeasts and lactic acid bacteria in pig feed fermented with whey, wet wheat distillers' grains, or water at different temperatures. *Applied Environmental Microbiology* 74 1696–1703.
- Palliyeguru, M.W.C.D., Rose, S.P. & Mackenzie, A.M. 2010. Effect of dietary protein concentrates on the inci-dence of subclinical necrotic enteritis and growth performance of broiler chickens. *Poultry Science* 89: 34–43.
- Partanen, K. & Mroz, Z. 1999. Organic acids for performance enhancement in pig diets. *Nutrition Research Re-views* 12: 117–145.
- Pauly, C., Spring, P., O'Doherty, J.V., Ampuero Kragten, S., Bee, G. 2008. Performances, meat quality and boar taint of castrates and entire male pigs fed a standard and a raw potato starch-enriched diet. *Animal* 11: 1707–15.
- Pedersen, C. & Lindberg, J.E. 2004. Comparison of low-glycoalcaloid potato protein and fish meal as protein sources in weaner piglets. *Acta Agriculturae Scandinavica Section A: Animal Science* 54: 75–80.
- Plumed-Ferrer, C. & von Wright, A. 2011. Antimicrobial activity of weak acids in liquid feed fermentations. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 1032–1040.
- Pääkkönen, J., Vuorikoski, S., Pirkanniemi, K., Hyytiä, H. 2004. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) Suo-men perunatärkkelysteollisuudessa, Suomen ympäristö 729. 81 s. ISBN 952-11-1837-7.
- Ribes, J.A., Vanover-Sams, C.L., Baker, D.J. 2000. Zygomycetes in human disease. *Clinical Microbiology Review* 13: 236–301.

- Rouvinen-Watt, K., White, M. & Johnson, M. 2000. Potato industry by-products as feed ingredients for mink during the growing-furring period. *Scientifur* 24: 99–102.
- Saito, K., Abe, A., Sujaya, I.N., Sone, T. & Oda, Y. 2004. Comparison of *Amylomyces rouxii* and *Rhizopus oryzae* in lactic acid fermentation of potato pulp. *Food Science and Technology Research* 10: 224–226.
- Saito, K., Noda, T., Tsuda, S., Mori, M., Hasa, Y., Kito, H. & Oda, Y. 2006. Effect of the dates of extraction on the quality of potato pulp. *Bioresource Technology* 97: 2470–2473.
- Salo, M.-L. 1965. Determination of carbohydrate fractions in animal foods and faeces. *Acta Agraria Fennica* 105: 1–102.
- Salo, M.-L. & Salmi, M. 1968. Determination of starch by the amyloglucosidase method. *The Journal of Scientific Agricultural Society of Finland* 40: 38–45.
- Scholten, R., Rijnen M.J.A., Schrama, J.W., Boer, H., Vesseur P.C. den Hartog, L.A., van der Peet-Schwering C.M.C., Verstegen M.W.A. 2001. Fermentation of liquid coproducts and liquid compound diets: Part 1. Effects on chemical composition during a 6-day storage period *Journal of Animal Physiology A: Animal Nutrition* 85: 111–123.
- Scholten, R.H.J., van der Peet-Schwering, C.M.C., Verstegen, M.W.A., den Hartog, L.A., Schrama, J.W., Vesseur, P.C. 1999. Fermented co-products and fermented compound diets for pigs: A review. *Animal Feed Science and Technology* 82: 1–19.
- Siljander-Rasi, H., Alaviuhkola, T. & Suomi, K. 1998. Carbadox, formic acid and potato fiber as feed additives for growing pigs. *Journal of Animal and Feed Sciences* 7: 205–209.
- Siljander-Rasi H., Valaja J. 2008. Kuivaamaton perunaproteiini lihasikojen rehuna. Hopponen, A. (toim.) Maataloustieteen Päivät 2008, 10.–11.1.2008. Esitelmät ja posterit.
- Somogyi, M. 1945. A new reagent for the determination of sugars. *Journal of Biological Chemistry* 160: 61–68.
- Tietohaarukka 2015. Tilastotietoa Elintarvikealasta. Ruokatieto Yhdistys ry.
- Van Lunen, T.A., Andersson, D.M., St. Laurent, S-A., Nicholson, J.W.G. & Dean, P.R. 1989. The feeding value of potato stem peel for growing-finishing pig. *Canadian Journal of Animal Science* 69: 225–234.
- Wang, T.Y., Wu, Y.H., Jiang C.Y. & Liu, Y. 2010. Solid state fermented potato pulp can be used as poultry feed. *British Poultry Science* 51: 229–234.
- Weurding, R.E., Veldman, A., Veen, W.A.G., van der Aar, P.J. & Verstegen, M.W.A. 2001. Starch digestion rate in the small intestine of broiler chickens differs among feedstuffs. *Journal of Nutrition* 131: 2329–2335.
- Whittemore, C.T. 1977. The potato (*Solanum tuberosum*) as a source of nutrients for pigs, calves and fowl - a review. *Animal Feed Science and Technology* 2: 171–190.
- Whittemore C.T., Taylor, A.G. & Elsley, F.W.H. 1973. The influence of processing upon the nutritive value of the potato. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 24: 539–545.
- Willig S., Losel, D., & Claus, R. 2005. Effects of resistant potato starch on odor emission from feces in swine production units. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 1173–1178.
- Wilson, K.M., Rimm, E.B., Thompson, K.M. & Mucci, L.A. 2006. Dietary acrylamide and cancer risks in humans: a review. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* 1: 19–27.
- Zollitsch, W. & Baumung, R. 2004. Protein supply for organic poultry: options and shortcomings. Hovi, M., Sundrum, A. & Padel, S. (toim) Organic livestock farming: potential and limitations of husbandry practice to secure animal health and welfare and food quality. Proceedings of the 2nd SAFO Workshop, 25–27 March 2004, Witzenhausen, Germany.

Liitteet

Liite 1. Pullo- ja pilot -fermentointien aistinvarainen arviointi

Taulukko 1. Pullofermentoinnit 2 ja 5 vuorokautta: hera + perunankuorimassa- sekä hera + perunankuorimassa + ohranäytteet bakteerilisäyksen: ulkonäkö ja haju.

Näyte	Fermentointi 2 vuorokautta		Fermentointi 5 vuorokautta	
	Ulkonäkö	Haju	Ulkonäkö	Haju
ja 1.2 Hera + perunan- kuorimassa	Väri keltaisen ruskea	Aavistuksen ummehtunut	Väri kellertävä, hiivakasvustoa lauttoina pinnalla, ei hometta	Hedelmäinen
2.1 ja 2.2 Hera + perunan- kuorimassa + F 22	Väri kaikkein vaalein	Raikas	Väri kellertävä, kiinteä massa hienontunut verrattuna mui- hin näytteisiin, vähemmän hiiva-kasvustoa kuin näytteis- sä 1 ja 3.	Hedelmäinen
3. 1 ja 3.2 Hera + perunan- kuorimassa + F 55	Väri vaalea	Raikas	Väri kellertävä, hiivakasvustoa lauttoina pinnalla, ei hometta	Karja- keittiömäinen
4. 1 ja 4.2 Hera + perunan- kuorimassa + ohra	Vaalea neste ja kiinteämpi faasi, pinnalla vain vähän kasvustoa	Raikas	Toisessa kirkaankeltainen, toisessa hieman tummempi nestefaasi	Hieman home, toinen hieman makea
5. 1 ja 5.2 Hera + perunan- kuorimassa + ohra + F 22	Neste hieman tummempaa kuin näytteissä 4., pinnalla vain vähän kasvustoa.	Tunkkainen	Kiinteän faasin partikkelit oli- vat murentuneet pienemmiksi ja nestefaasi oli tummaa.	Aavistus viljan tuoksua, toinen myös hieman makea
6. 1 ja 6.2 Hera + perunan- kuorimassa + ohra + F 55	Yhtä vaaleita kuin 4.	Homeinen	Nestefaasi oli ed. vaaleampi, mutta hieman tummuutta jäljellä	Käynyt vilja, murske- säilövilja



Kuva 1a. Näytteet 1–3 (rinnakkaiset) 5 vrk:n fermentoinnin jälkeen. Näytteissä 2 kiinteän faasin perunankuori-partikkelit ovat alkaneet hieman hajota.



Kuva 1b. Näytteet 4–6 (rinnakkaiset) 5 vrk:n fermentoinnin jälkeen. Näytteissä 5 on selvästi havaittavissa muita näytteitä tummempi vesifaasi ja kiinteän faasin perunankuori-partikkelit ovat hajonneet pienemmiksi kappaleiksi.

Taulukko 2. Pullofermentoinnit 2 ja 5 vuorokautta: heranäytteet bakteerilisäyksen: ulkonäkö ja haju.

Näyte	Fermentointi 2 vrk		Fermentointi 5 vrk	
	Ulkonäkö	Haju	Ulkonäkö	Haju
1. 1 ja 1.2 Hera H	Pinnalla vaahtoa, vaaleampi kuin 1. ja 3.	Normaali, hapantunut hera	Pinnalla valkoinen vaahtokerros, kiinteä faasi vaalea	Hapantunut viili
2. 1 ja 2.2 Hera + F 22	Pinnalla vaahtoa, kellertävän vihertävä	Vastalypsetty maito	Pinnalla valkoinen vaahtokerros, kiinteä faasi kellertävän vihertävä	Mieto, raikas
3. 1 ja 3.3 Hera + F 55	Pinnalla vaahtoa	Happamampi kuin edellisissä	Pinnalla valkoinen vaahtokerros, kiinteä faasi vaalea	Mieto, raikas



Kuva 2a. Heranäytteet 1–3 (rinnakkaiset) 2 vrk:n fermentoinnin jälkeen. Näyte 2 väriltään kellertävän vihertävä.



Kuva 2b. Heranäytteet 1–3 (rinnakkaiset) 5 vrk:n fermentoinnin jälkeen. Näyte 2 väriltään kellertävän vihertävä.

Taulukko 3. Pullofermentoinnit 2 ja 5 vuorokautta: perunankuorimassanäytteet bakteerilisäyksen: ulkonäkö ja haju.

Näyte	Fermentointi 2 vrk		Fermentointi 5 vrk	
	Ulkonäkö	Haju	Ulkonäkö	Haju
1.1 ja 1.2 Perunankuori- massa P	Vaalea, harmaata pinnalla	Ummeh- tunut	Toinen hometon, toisessa ohut homematto, väri harmahtava, massa tasainen, jäykkä	Toinen hedelmäinen raikas, toinen lietteen haju
2.1 ja 2.2 Perunankuori- massa + F 22	Vaaleampi kuin 1 ja 3, hieman harmaata pinnalla	Edellistä raikkaampi	Ei hometta, ylhäällä nestefaasi, massa tasainen, juokseva, väri keltainen	Toinen raikas persikka, toinen homeen haju
3.1 ja 3.2 Perunankuori- massa + F 55	Vaalea, harmaata pinnalla	Ummeh- tunut, hapokas	Hometta pinnalla, väri harmahtava, massa tasainen, jäykkä	Toinen lietteen haju, toinen ummehtunut, homehtunut



Kuva 3a. Perunankuorimassanäytteet 1–3 (rinnakkaiset) 2 vrk:n fermentoinnin jälkeen. Näyte 2 väriltään hie-
man vaaleampi.



Kuva 3b. Perunankuorimassanäytteet 1–3 (rinnakkaiset) 5 vrk:n fermentoinnin jälkeen. Näyte 2 väriltään vaa-
leampi, pinnalla nestefaasi.



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000