

**Eri säilöntäaineiden vaikutus hernevehnä- ja härkäpapuvehnäkoko-
viljasäilörehun käymislaatuun ja aerobiseen stabiilisuuteen**

Katja Kuusisto
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden laitos
Kotieläinten ravitsemustiede
Huhtikuu 2015

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Katja Kuusisto			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Eri säilöntäaineiden vaikutus hernevehnä- ja härkäpapuveh্নäkokoviljasäilörehun käymislaatuun ja aerobiseen stabiilisuuteen			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kotieläinten ravitsemustiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma		Aika — Datum — Month and year Huhtikuu 2015	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 74 s.
Tiivistelmä — Referat — Abstract Tämän maisterintutkielman tavoitteena oli tutkia hernevehnä- ja härkäpapuveh্নäsäilörehujen säilönnällistä laatua ja aerobista stabiilisuutta erilaisilla säilöntäaineilla säilöttyinä. Tutkimuksen avulla pyrittiin selvittämään erityisesti kyseisten seoskasvustojen säilöntää luonnonmukaisen tuotannon näkökulmasta. Koerehut kylvettiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) Ruukin toimipisteessä 4.-7.6.2013 ja säilöttiin laboratoriosiiiloihin 26.8.2013. Molemmista kasvustoista tehtiin neljä erilaista säilöntäainekäsittelyä; painorehu (PR), muraahaishappopohjainen säilöntäaine (MH), heterofermentatiiviset maitohappobakteerivalmisteet (B1 ja B2). Jokaisesta säilöntäainekäsittelystä tehtiin kolme rinnakkaista siiloa ja ne avattiin 106 säilöntäpäivän jälkeen 9.12.2013 Luke Jokioisilla. Rehuista määritettiin raaka-aineen kemiallinen ja mikrobiologinen koostumus sekä säilörehun käymislaatu, mikrobiologinen laatu ja aerobinen stabiilisuus. Molemmat kasvustot olivat märkiä korjattaessa, härkäpapuveh্নä oli hieman herneveh্নää märempää. Herneveh্নässä oli myös enemmän raakavalkuaista, vesiliukoisia hiilihydraatteja ja tärkkelystä sekä suurempi puskurikapasiteetti. Härkäpapuveh্নässä oli enemmän NDF:ää ja heikompi sulavuus. Raaka-aineiden koostumuksen perusteella molemmat kasvustot olivat helposti säilöittäviä ja kasvustojen kehitysasteiden välillä oli eroa. Mikrobiologisen laadun perusteella rehuraaka-aineissa oli melko paljon mikrobeja. Molemmissa oli hyvin paljon luontaisia maitohappobakteereita sekä hiivoja ja homeita. MH-käsittely erosi käymislaadultaan muista käsittelyistä molemmissa kasvustoissa. MH-käsittelyissä oli muita käsittelyjä suurempi pH, mutta vähemmän useimpia käymishappoja kuten maito- ja etikkahappoa sekä pienempi osuus ammoniumtyypeä kokonaistypestä. B1- ja B2-käsittelyt olivat voimakkaasti käyneitä ja niissä oli huomattavan paljon käymishappoja ja ammoniumtyypen osuus kokonaistypestä oli suuri. Biologisilla säilöntäaineilla säilöttyt rehut eivät eronneet käymislaadultaan juurikaan painorehusta, joka oli myös voimakkaasti käynyttä. Missään kokeen rehussa ei havaittu suuria määriä voi-happoa. Mikrobiologiselta laadun perusteella säilörehut olivat alttiita aerobiselle pilaantumiselle. Herneveh্নäsäilörehu oli aerobisesti stabiilimpaa kuin härkäpapuveh্নä. Tämä johtuu todennäköisesti suuremmasta käymishappojen määrästä. MH-säilörehu oli aerobisesti stabiilein herneveh্নäsäilörehuista ja B1-säilörehu oli stabiilein härkäpapuveh্নäsäilörehuista. Säilörehuista tehdyt seosrehut olivat säilörehuja vähemmän stabiileja.			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords herne, härkäpapu, luomu, säilöntäaine, käymislaatu, aerobinen stabiilisuus, palkokasvit			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto, Kotieläinten ravitsemustieteen kirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Tutkimus tehtiin Luonnonvarakeskuksen Ruukin ja Jokioisten toimipisteissä Työn ohjaajat: Yliopistonlehtori Seija Jaakkola (HY) ja vanhempi tutkija Arja Seppälä (Luke)			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Katja Kuusisto			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Effects of different additives in ensiling field bean- wheat and field pea-wheat whole-crop silages.			
Oppiaine — Läroämne — Subject Animal Nutrition			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year April 2015	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 74 p.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>The aim of this study was to investigate the ensilability of field pea and faba bean bi-crop with spring wheat when ensiled as whole-crop with different additives. In this study we attempted to clarify use of pea – wheat and faba bean – wheat bi-crop in organic farming.</p> <p>Forages was sown at 4th to 7th of June in Luonnonvarakeskus (Luke) Ruukki and forages were ensiled in laboratory silos at 26th of August 2013. Silages were ensiled without additive (PR), with formic acid (MH) and with two different heterofermentative inoculants (B1 and B2) as additive. Each treatment were made three replicants. Silos were opened after 106 ensiling days at 9th of December in Luke Jokioinen. Chemical and microbiological compositions were determined from samples of herbage. From silage samples were analysed fermentation quality, microbiological composition and aerobic stability.</p> <p>All samples were wet. Faba bean – wheat bi-crop was a little wetter than field pea – wheat bi-crop. Field pea – wheat forage contained more crude protein, water-soluble carbohydrates, starch and had stronger buffering capacity than faba bean – wheat. Faba bean – wheat bi-crop contained more neutral-detergent fiber (NDF) and had also lower digestibility. Both of crops were easy to ensile and growth stage were different between crops. All samples included lot of micro-organism especially yeast, moulds and epiphytic lactic acid bacteria.</p> <p>Field pea – wheat silage contained more fermentation products than faba bean – wheat silage. MH- treated silages had better fermentation quality than other silages although there were higher pH values in MH silages. MH silages contained less lactic and acetic acids and ammonium nitrogen. Inoculant treated silages mostly did not differ from PR treatment in fermentation parameters. That is probably due to high epiphytic lactic acid bacteria account in herbage. Silages contained only a little butyric acid. Microbiological quality of silages predisposed them to aerobic deterioration because there were considerable high amounts of yeasts and moulds.</p> <p>Field pea –wheat silages were more aerobically stable than faba bean - wheat. This is probably due to higher concentration of fermentation acids in field pea-wheat silages. MH treatment was the most aerobically stable of field pea – wheat silages. B2 treatment was the most stable of field pea – wheat silages. Mixed ration of these silages were more prone to aerobically deterioration than silages.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords legume, whole crop, field bean, field pea, wheat, organic farming, silage, additive			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Experiment was carried out in Luonnonvarakeskus Ruukki and Jokioinen. Supervisors were University Lecturer Seija Jaakkola (HY) and Senior Research Arja Seppälä (Luke).			

Sisältö

LYHENTEET	6
1. Johdanto	7
2. Herne ja härkäpapu kokoviljasäilörehun raaka-aineena	9
2.1 Rehuarvo	9
2.2 Lajikkeet ja seoskasvustot	10
2.3 Palkoviljojen säilöntä kokoviljasäilörehuksi	11
2.3.1 Säilöttävyys	11
2.3.2 Aerobinen stabiilisuus	12
2.4 Säilönnän tavoitteet	13
2.5 Säilönnän edistäminen säilöntäaineilla	14
2.4.1 Orgaaniset hapot	14
2.5.1 Homofermentatiiviset maitohappobakteerit	16
2.5.2 Heterofermentatiiviset bakteerit	17
2.5.3 Entsyymit	18
2.5.4 Luomutuotannon erityispiirteet säilöntäainevalintaa tehtäessä	19
3. Tutkimuksen tavoitteet	20
4. Aineisto ja menetelmät	21
4.1 Kasvusto	21
4.2 Siilot ja muut tarvikkeet	21
4.3 Säilöntäaineet	22
4.4 Korjuu ja säilöntä	22
4.5 Siilojen avaaminen	24
4.6 Analyysimenetelmät	24
4.6.1 Raaka-aineen kemiallinen koostumus	24
4.6.2 Säilönnällinen laatu	26
4.6.3 Mikrobiologinen laatu	26
4.6.4 Säilörehun aerobinen stabiilisuus	27
4.6.5 Tilastolliset analyysit ja tulosten laskenta	28
5. Tulokset	29
5.1 Raaka-aineen koostumus ja mikrobiologinen laatu	29
5.2 Säilörehun käymislaatu	31
5.3 Rehujen mikrobiologinen laatu	36
5.4 Rehujen aerobinen stabiilisuus	38

6. Tulosten tarkastelu	40
7.1. Raaka-aine	40
7.1.1 Raaka-aineen kemiallinen koostumus	40
7.1.2 Säilöttävyys	44
7.1.3 Mikrobiologinen laatu	45
7.2 Säilörehun käymislaatu	47
7.2.1 Painorehu	49
7.2.2 Muurahaishappopohjainen säilöntäaine	51
7.2.3 Biologiset säilöntäaineet	55
7.3 Säilörehun mikrobiologinen laatu	57
7.4 Seosrehukomponenttien mikrobiologinen laatu	59
7.5 Säilörehun aerobinen stabiilius	60
7. Johtopäätökset	63
Kiitokset	64
Lähteet	66

LYHENTEET

PR= painorehu

MH= muurahaishappopohjainen säilöntäaine

B1= heterofermentatiivinen maitohappobakteeri

B2= heterofermentatiivinen maitohappobakteeri

mekv= milliekvivalentti

pmy= pesäkettä muodostavaa yksikköä

ME= muuntokelpoinen energia

OIV= ohutsuolessa imeytyvä valkuainen

PVT= pötsin valkuaistase

NDF= neutraalidetergenttikuitu

1. Johdanto

Suomen valkuaisomavaraisuus on noin 15 % eli hieman pienempi kuin koko Euroopan Unionin valkuaisomavaraisuus (20-25 %)(MMM 2010). Suurin osa maahan tuotavasta valkuaisesta on soijaa, mutta myös rypsiä ja rapsia tuodaan (Niemi ym. 2012). Alhainen valkuaisomavaraisuus heikentää kansallista huoltovarmuuttamme ja tekee samalla maataloutemme alttiimmaksi erilaisille heilahteluille maailmanmarkkinoilla (MMM 2011). Valkuaisomavaraisuuden lisääminen on nimetty yhdeksi tavoitteeksi myös Rehustrategiatyöryhmän raportissa (2010).

Valkuaisomavaraisuus on tärkeää myös erityisesti luomutuotannossa, jossa ostorehujen käyttö ja peltojen lannoittaminen ovat hyvin rajoitettuja. Palkokasvit ovat tästä näkökulmasta hyvä ratkaisu kumpaankin, sillä ne sitovat juurinysträbakteeriensa avulla ilmakehän typpeä, joka vapautuu myöhemmin viljelykierrossa myös muiden kasvien käyttöön. Palkokasvit toimivat myös hyvänä valkuaislähteenä kotieläimille niiden suhteellisen suuren raakavalkuaispitoisuuden takia. Tosin valkuaisen hyödyllisyys riippuu sen lähteestä ja muun ruokinnan vaikutuksesta. Palkoviljoissa typen hyväksikäyttö ruokinnassa on heikompaa kuin hyvälaatuisten valkuaisrehujen (soija, rypsi), joiden pötsihajoavuus on pienempi kuin palkoviljen (Rondahl ym. 2007). Säilörehussa koko rehun koostumus ja erityisesti saatavilla olevan energian määrä pötsissä vaikuttaa pötsin mikrobivalkuaisen synteesiin ja sitä kautta typen hyväksikäyttöön (Rondahl ym. 2007).

Valkuainen on myös kallis rehukomponentti, joten mitä enemmän tila tuottaa itse rehuvalkuaista ja käyttää sitä tehokkaasti hyväkseen, sitä enemmän se myös pystyy säästämään rehukustannuksissa. Tämä on erityisen tärkeää luomutuotannossa, jossa luonnonmukaisesti tuotetun ostovalkuaisen hinta on suuri. Luonnonmukaisen tuotannon säädökset asettavat rajoituksia myös ruokinnan koostumukseen erityisesti ostaja väkirehun määrän osalta. Kasvinsyöjien rehujen omavaraisuus aste tulee olla vähintään 60 % ja nautojen, lampaiden, vuohien ja hevosten maataloudesta peräisin olevien rehujen päivittäisestä kuiva-aineesta 60 % pitää olla karkearehua (Evira 2015).

Luonnonmukaisessa tuotannossa käytettävien rehun säilöntäaineiden käyttö on myös rajoitettua. Rehujen säilöntään saa käytä vain luonnonmukaisessa tuotannossa sallit-

tuja lisäaineita, jotka on lueteltu Euroopan Unionin Komission asetuksessa N:o 889/2008 ja sen muutoksen (EU) 505/2012 liitteessä VI. Luonnonmukaisessa tuotannossa eläintenhoitosuunnitelmassa pitää myös olla selvitys rehujen säilöntään käytetyistä aineista, mikäli säilöntään on käytetty sorbiini-, maito-, muurahais-, propioni-, sitruuna- ja etikkahappoa tai natriumformiaattia (Evira 2013).

Palkokasvien viljeleminen seoskasvustona viljojen kanssa ehkäisee rentovartisten palkokasvien lakoontumista ja mahdollistaa näin ollen suuremman sadon (Fraser ym. 2001). Seoskasvustona viljeltynä kuitenkin korjuuajankohta aiheuttaa ongelmia, sillä se pitää asettaa molempien kasvien kannalta optimaaliseen kohtaan eli satoa ei voida korjata toiselle kasville suotuisaan aikaan. Kasvin vanhetessa sen varren osuus suhteessa lehtiin kasvaa ja näin ollen myös sulavuus heikkenee (Fraser ym. 2001). Säilörehu on Suomen ilmasto-olosuhteiden johdosta varmin tapa kerätä satoa palkokasveista koko maassa. Herneen ja härkävavun kasvuaika on liian pitkä erityisesti pohjoisemman Suomen olosuhteisiin, joten säilörehu on tällöin hyvä vaihtoehto.

2. Herne ja härkäpapu kokoviljasäilörehun raaka-aineena

2.1 Rehuarvo

Herneen ja härkäpavun siemeniä käytetään valkuaisrehuna niiden suuren valkuaispitoisuuden johdosta. Siementen raakavalkuaispitoisuudet ovat melko suuria; herneellä 230 g/kg ka ja härkäpavulla noin 300 g/kg ka (Luke 2014). Valkuaispitoisuudet ovat jonkin verran pienempiä kuin rypsipuristeen valkuaispitoisuus (358 g/kg ka) (Luke 2015), mutta soveltuvat paremmin omavaraiseen tuotantoon, koska niiden viljely ja käyttö eläinten ruokinnassa on jonkin verran tilaolosuhteissa yksinkertaisempaa. Herneen ja härkäpavuvehnän valkuaisen pötsihajoavuus (0,80) on kuitenkin huomattavasti suurempi kuin rypsipuristeessa (0,60), jolloin ohutsuoleen kulkeutuvaa valkuaisainetta on vähemmän herneessä ja härkäpavussa (Luke 2015). Siementen energiapitoisuus (herne 13,3 MJ/kg ka, härkäpapu 12,8 MJ/kg ka) on myös melko suuri tärkkelyspitoisuuden takia. Rypsirouheella vastaava energiapitoisuus on hieman pienempi 12,3 MJ/kg ka (Luke 2015).

Lypsylehmien alkulaktaation aikana soijapavun korvaaminen härkäpavulla ei vaikuttanut juuri maitotuotokseen tai maidon pitoisuuksiin (Tufarelli ym. 2012). Tällä perusteella härkäpavulla pelkkänä siemenenä voitaisiin korvata soijaa lypsylehmien ruokinnassa. Puhakan ym. (2014) mukaan härkäpavulla voidaan saada tuotoslisäys verrattuna valkuaisäydentämättömään ruokintaan, mutta ei päästä samalle tasolle rypsitäydennetyin ruokinnan kanssa. Tämä koskee ainoastaan kuitenkin siemeniä, sillä kokoviljasäilörehuksi korjatun kasvuston raakavalkuaispitoisuus ja laatu eivät ole samat kuin puhtaiden siementen. Nykäsen ym. (2010) tutkimuksissa kasvustoiden sulavuudet eivät yltäneet lypsylehmien rehujen tavoitearvoihin. Heikompi D-arvo johtui viljojen huonoista D-arvoista. Hernevehnäkokoviljasäilörehun syönnin on aiemmissa tutkimuksissa todettu olevan huomattavasti suurempia kuin nurmisäilörehun syönti, mikä kompensoi huonommasta D-arvosta johtuvaa maitotuotoksen laskua (Salawu ym. 2002, Adesogan ym. 2004).

Luken (2015) rehutaulukoiden perusteella kokoviljaksi korjaamalla herneen ja härkäpavun ME-, OIV- ja raakavalkuaispitoisuus pienenee ja hajoavana valkuaisen osuus ja kuidun määrä on suurempi siementen koostumukseen verrattuna. Raakavalkuaisen pitoisuus on kuitenkin myös kokoviljasäilörehuksi korjattuna herneellä (190

g/kg ka) ja härkäpavulla (180 g/kg ka) tavalliseen ensimmäisen sadon normaalisu-luuden nurmisäilörehuun (145 g/kg ka) verrattuna suuri ja vähentävät lisättävän valkuaisen tarvetta eläinten ruokinnassa (Luke 2015). Palkokasvien siementen valkuai-sen laatu on kuitenkin heikompi aminohappokoostumuksen ja pötsihajoavuuden osalta verrattuna esimerkiksi rypsiin. Kokoviljasäilörehuna korjattuna valkuaisen pötsihajoavuusarvo on siementen tapaan sekä herneellä että härkäpavulla melko suurta (esimerkiksi härkäpapu 0,8) (Luke 2015).

Rondahlin ym. (2006) tutkimusten mukaan herne-ohra-säilörehun ja nurmisäilörehun seoksella voidaan saavuttaa yhtä suuri tuotostaso pienemmällä väkirehumäärällä (7 kg) kuin kummallakaan säilörehulla suurempaan (10 kg) väkirehumäärän yhdistetty-nä. Herne-ohra-säilörehun käyttö yhdessä tavallisen nurmisäilörehun kanssa paransi typen hyväksikäyttöä tasapainottamalla valkuaisen ja energian saantia (Rondahl ym. 2006). Samoin Mustafan ym. (2000) ja Adesogan ym. (2002) tutkimuksissa herne-vehnä- ja hernesäilörehuilla voitiin korvata lypsylehmien ruokinnassa muita säilöre-huja tai väkirehua maitotuotoksen laskematta.

Rehuraaka-aineen rehuarvoon vaikuttaa myös se missä kasvuasteessa kasvusto korja-taan (Mustafa ja Sequin 2004, Rondahl ym. 2006, Kuoppala ym. 2014b). Kasvuas-teen valintaan vaikuttavat kasvilajien ja lajikkeiden kehitystahdit. Rondahlin ym. (2006) lypsylehmien tuotantokokeen perusteella paras tuotantovaste saatiin, kun her-ne oli palkojen täyttymisvaiheessa. Kokoviljasäilörehun ravitsemuksellisen arvon kannaltaärkevintä on, että kasvustossa on mahdollisimman paljon palkoja, sillä suu-rin osa valkuaisesta on keskittynyt niihin. Näin ollen kannattaa valita lajikkeita, jois-sa on suhteellisen paljon palkoja verrattuna varren ja lehtien määrään. Jaakkola ym. (2009) totesivat taikinatuleentumisvaiheessa korjatun vehnä- ja ohrakokoviljasäilö-rehun sopivan hyvin lypsylehmien ruokintaan.

2.2 Lajikkeet ja seoskasvustot

Palkokasvien lajin ja lajikkeen valinnassa on huomioitava rehun käyttötarkoitus, sillä puitavaksi soveltuvat lajikkeet eivät välttämättä sovi kokoviljasäilörehuksi. Palko-kasveista erityisesti herneet ovat hyvin lakoontumisherkkiä (Kuoppala ym. 2014b).

Kokoviljasäilörehussa säilörehun tuotosvaikutukseen vaikuttavat myös kasvinosien suhteet. Adesoganin ym. (2004) tutkimusten mukaan lyhytvartisesta hernelajikkeesta tehdyllä säilörehulla voitiin korvata enemmän väkirehua nurmisäilörehupohjaisella dieetillä lypsylehmien ruokinnassa ilman maitotuotoksen laskua kuin pitkävartisesta lajikkeesta tehdyllä säilörehulla.

Viljojen käytön tarkoituksena on tukea rentovartisia palkokasveja ja näin helpottaa rehun korjaamista. Kun viljaa valitaan tukikasviksi, sen varren tulisi olla mahdollisimman jäykkä ja vahva sekä sen pitäisi tuleentua mahdollisimman myöhään, jotta myös palkokasvit ehtisivät kasvaa mahdollisimman kauan. Viljat parantavat myös palkokasvien tynen hyväksikäyttöä lisäämällä säilörehun nopeasti fermentoituvien hiilihydraattien määrää pötsissä (Broderick 2003). Kasvien kilpailukyky on myös parempi rikkakasveja vastaan, kun kasvustossa on useampia eri lajeja (Amosse ym. 2013). Tämä on tärkeää erityisesti luonnonmukaisessa tuotannossa, jossa rikkakasvien torjuntaan ei saa käyttää kemiallisia torjunta-aineita.

2.3 Palkoviljojen säilöntä kokoviljasäilörehuksi

2.3.1 Säilöttävyys

Palkokasvien säilönnässä on huomioitava niille tyypilliset erityispiirteet kuten suuri puskurikapasiteetti, vähäinen vesiliukoisten hiilihydraattien määrä ja mahdollisesti pieni kuiva-ainepitoisuus (Borreani ym. 2007, 2009). Puskurikapasiteetin voimakkuus vaikuttaa siihen miten paljon happoa tarvitaan laskemaan rehun pH säilönnän kannalta sopivalle tasolle. Voimakas puskurikapasiteetti aiheutuu palkokasveissa aminohappojen ja kivennäisaineiden, erityisesti kalsiumin, suurista pitoisuuksista (Dinic ym. 2012). Kivennäisaineet voivat neutraloida happoja ja näin ollen, mitä enemmän niitä on, sitä vaikeampaa pH:n lasku on. Palkokasveissa myös suhteellisen pieni vesiliukoisten hiilihydraattien määrä aiheuttaa ongelmia erityisesti, kun säilönnään käytetään erilaisia bakteerivalmisteita. Bakteerit käyttävät vesiliukoisia hiilihydraatteja ravintonaan ja niiden aineenvaihdunnan tuloksena syntyy erilaisia happoja joiden avulla voidaan parantaa rehujen säilyvyyttä (McDonald ym. 1991).

Myös kasvin korjuuaika vaikuttaa säilöttävyyteen, sillä mitä vanhempaa kasvusto on, sitä enemmän siinä on kuitua ja heikosti sulavia kasvinosia ja vähemmän helppo-liukoisia hiilihydraatteja. Tämä vaikuttaa säilöntään erityisesti silloin, kun käytetään biologisia säilöntäaineita. Niiden sisältämät bakteerit tarvitsevat liukoisia sokereita kasvaakseen ja tuottaakseen rehuun happoja.

2.3.2 Aerobinen stabiilisuus

Rehun aerobisella stabiiliudella tarkoitetaan rehun jälkilämpenemisherkkyttä eli rehun lämpenemisnopeutta sen jouduttua jälleen hapen kanssa tekemisiin esimerkiksi siilon avauksen jälkeen (McDonald ym. 1991). Rehun tulisi säilyä aerobisissa olosuhteissa melko pitkään, sillä ruokintatilanteissa rehun on kestävä syöntikelpoisena useiden vuorokausien ajan. Rehun aerobista stabiilisuutta tutkitaan mittamalla rehun lämpötilan muutokseen kuluvaa aikaa aerobisissa olosuhteissa. Useimmiten lämpenemisrajana käytetään kahta astetta. Rehun aerobista stabiiliutta voidaan tutkia myös mittaamalla sen hiilidioksidin tuotantoa (Wilkinson ja Davies 2013).

Rehun aerobiseen stabiiliuteen vaikuttavat säilöttävä rehumassa (kuiva-ainepitoisuus, puskurikapasiteetti, hiivojen ja homeiden määrä ym.), rehun tiivistys ja hapettomien olosuhteiden luomisen onnistuminen, käymisen aikana syntyneiden voi-, etikka ja propionihapon määrät sekä hapelle altistumisen kesto (Kung Jr ym. 2003, Wilkinson ja Davies 2013). Aerobista stabiiliutta voidaan kehittää lisäämällä säilöntäaineen mukana rehuun hiivojen ja homeiden kasvua inhiboivia aineita tai niitä tuottavia mikrobeja. Tällaisia aineita ovat tietyt epäorgaaniset suolat ja heterofermentatiivisten bakteerien tuottamat orgaaniset hapot. Rehun aerobista stabiilisuutta parantavia orgaanisia happoja ovat etikka-, propioni- ja voihapo (McDonald ym. 1991, Kung Jr ym. 2003, Wilkinson ja Davies 2013), joiden toiminta perustuu solulimaa happamoittavaan vaikutukseen. Voihapo on näistä eniten aerobista stabiiliutta lisäävä, mutta sen esiintyminen rehussa yhdistetään useimmiten virheikäymiseen, joten sitä ei käytetä aerobisen stabiiliuden parantamiseen.

Eräsissä tutkimuksissa on todettu, että palkokasvit olisivat nurmikasveja aerobisesti stabiilimpia ja tämän syyksi on arveltu, että ne sisältävät tiettyjä pailaantumista ehkäiseviä aineita (Wilkinson ja Davies 2013). Toisaalta suuren puskurikapasiteetin ja

pienen vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuuden takia rehun pH voi jäädä biologisilla säilöntäaineilla suureksi, jolloin lämpenemistä aiheuttavilla hiivoilla ja homeilla on otollisempi kasvuympäristö.

2.4 Säilönnän tavoitteet

Niiton jälkeen pellolla tapahtuvien säilöntätappioiden määrä pyritään pitämään mahdollisimman pieninä. Pellolla tapahtuvat hävikit syntyvät kasvimassan soluhengityksestä ja omasta entsyymitoiminnasta, mikrobien kasvusta sekä rehun varisemistappioista. Mikrobitoiminta johtuu osittain kasvien luontaisen mikrobiston toiminnasta sekä niiton yhteydessä siihen sekoittuneista mikrobeista (McDonald ym. 1991). Luontaisen mikrobiston aerobit maitohappobakteerit ja esimerkiksi enterobakteerit toimivat ennen säilöntää (McDonald ym. 1991). Esikuivatus lisää rehussa tapahtuvia hävikkejä, koska rehu on pidempään tekemisissä hapen kanssa, jolloin myös kasvien omat entsyymit hajottavat kasvin rakenteita (McDonald ym. 1991, Driehuis 2013).

Säilönnän alussa rehu on vielä aerobisessa tilassa hetken aikaa ennen kuin kaikki rehun joukossa oleva happi on kulutettu loppuun. Hapen loppuminen kasvimassasta ja sitä kautta anaerobisten maitohappobakteerin toiminnan mahdollistuminen riippuvat hapen ja mikrobien määrästä sekä lämpötilasta ja kosteudesta (McDonald ym. 1991). Mitä kauemmin hapen poistuminen rehusta kestää sitä kauemmin pH on haitallisen suuri ja haitallisten mikrobien kasvu (kuten klostridien) on mahdollista (McDonald ym. 1991, Driehuis 2013). Rehumassan lämpötila saattaa myös nousta hiilihydraattien hajotuksen seurauksena. Tällä säilönnän alun hapen riittävyydellä on suuri merkitys lopullisiin säilöntätappioihin (McDonald ym. 1991).

Säilönnän aikana tapahtuvat tappiot ovat puristeneste- ja virheikäymistappioita (McDonald ym. 1991). Puristenesteen mukana rehusta huuhtoutuu pois liuenneita ravintoaineita. Niiden syntyminen on sitä suurempaa, mitä märempää rehu on. Virheikäymisen seurauksena eläimelle käyttökelpoisia ravintoaineita pilkkoutuu heikommin käytettäviksi aineiksi ja rehun maittavuus heikkenee. Samalla menetetään myös rehun sisältämää energiaa ja valkuaista mikrobien kasvuun (McDonald ym. 1991). Virheikäymisen seurauksena rehun itiöpitoisuudet saattavat lisääntyä ja kotieläintuot-

teiden laatu heikentyä (Driehuis 2013). Esikuivatuksella pyritään vähentämään näitä säilönnän aikana tapahtuvia suuria ravintoainehävikkejä (McDonald ym. 1991).

Säilönnän jälkeisiä tappioita tapahtuu syöttövaiheessa, jolloin rehu joutuu jälleen ilman kanssa tekemisiin (McDonald ym. 1991). Tämän aerobisen pilaantumisen aiheuttavat hiivat, homeet ja aerobiset bakteerit (Driehuis 2013). Ne käyttävät aineenvaihdunnassaan rehun ravintoaineita ja tuottavat lämpöä ja osittain myös myrkyllisiä tai muuten haitallisia aineenvaihduntatuotteita. Aerobinen pilaantuminen aiheuttaa rehun lämpenemisen (McDonald ym. 1991, Kung Jr ym. 2003, Driehuis 2013).

2.5 Säilönnän edistäminen säilöntäaineilla

Säilöntäaineiden käytöllä pyritään ohjaamaan rehussa korjuun jälkeen tapahtuvia mikrobiologisia ja kemiallisia reaktioita niin, että rehu ei pilaantuisi säilönnän aikana anaerobisissa olosuhteissa eikä jouduttuaan jälleen aerobisiin olosuhteisiin. Käytännössä tämä tarkoittaa haitallisten mikrobien toiminnan hidastamista. Yleisimmin käytetty tekniikka tähän tarkoitukseen on pH:n laskeminen haittamikrobeille epäedulliselle alueelle tai muuttamalla muilla keinoin rehun olosuhteita niin, että haitallisten mikrobien kasvu estyy. Muita keinoja rehun säilyvyyden parantamiseen ovat esikuivatus ja hapettomuus. Kungin ym. (2003) mukaan säilöntäaineen voidaan jaotella niiden toimintaperiaatteen mukaan neljään kategoriaan; käymistä edistäviin, käymistä estäviin, aerobista pilaantumista estäviin sekä ravintoaineisiin ja adsorbantteihin.

2.4.1 Orgaaniset hapot

Orgaanisten happojen toiminta säilöntäaineena perustuu niiden aiheuttamaan nopeaan pH:n laskuun, joka puolestaan estää fermentaatiota (McDonald ym. 1991). Yleisimmin käytössä oleva orgaaninen happo on tällä hetkellä muurahaishappo. Lisäksi muurahaishapolla on niin sanottu bakteriosidinen vaikutus eli se estää bakteerien kasvua. Vaikutus on sitä voimakkaampi mitä pienempi rehun pH on, sillä valikoiva bakteriosidinen vaikutus syntyy dissosioitumattoman hapon tunkeutuessa mikrobin sisään, jossa se hajoaa anioniksi ja kationiksi happamoittaen soluliman. Anionimuoto häiritsee solun toimintaa. Muurahaishappo laskee tavallisesti valmistajan ohjeen mu-

kaan annosteltuna säilörehun pH:n alle 4,0. Tämä olosuhteiden muutos aiheuttaa sen, että mikrobitoiminta hidastuu ja fermentaatio vähenee. Palkokasveissa puskurikapasiteetti on suurempi kuin heinäkasveilla, joten niiden säilönnässä on käytettävä määrällisesti enemmän happoa, jotta rehumassan pH saadaan laskemaan tavoitetasolle (McDonald ym. 1991). Muurahaishapolla säilötyillä rehuilla on joissain tutkimuksissa todettu oleva suurempi aerobisen pilaantumisen riski kuin muilla säilöntäaineilla säilötyillä rehuilla (Kung Jr ym. 2003). Toisaalta Adesogan ja Salawu (2004) totesivat, että muurahaishapolla saavutettiin huomattavasti parempi aeroobinen stabiilisuus kuin biologisilla säilöntäaineilla. Muurahaishapolla säilötyn rehun on todettu myös useissa tutkimuksissa lisäävän lypsylehmien kuiva-aineen syöntiä ja maitotuotosta (Kung Jr ym. 2003). Muurahaishaposta hapon protolysoitumisessa irtoava vedyllä on myös sienten kasvua torjuva vaikutus, joka saattaa parantaa aerobista stabiiliutta estämällä hiivojen ja homeiden kasvua (Kung Jr ym. 2003).

Muurahaishappoa on hankalaa käsitellä sen pistävän hajun ja syövyttävyyden takia. Käsittelyn ja säilytyksen helpottamiseksi on kehitetty myös kaupallisia valmisteita, joissa muurahaishappo on ammoniakkin suolana eli ammoniumformaattina. Muurahaishapon muitakin suoloja on testattu säilönnässä, mutta ammoniumformaatti on varmatoimisin (McDonald ym. 1991). Suoloilla on erityisesti bakteeriosidisia vaikutuksia, sillä ne happamoittavat bakteerien soluliman päästessään solun sisään.

Lyhyt ketjusilla rasvahapoilla, kuten etikka-, voi- ja propionihappo, on tutkimuksissa ollut hiivojen ja homeiden kasvua ehkäiseviä vaikutuksia (McDonald ym. 1991). Tämä perustuu näiden happojen dissosioitumattoman muodon antifungaaliseen toimintaan. Dissosioitumaton muoto tunkeutuu solun sisään ja dissosioituu siellä. Tällöin solun toiminta häiriintyy soluliman pH:n ja varauksen muutoksesta. Toimintaperiaate on siis hyvin samanlainen kuin muurahaishapon antimikrobiaalinen vaikutus. Happojen sienien kasvua torjuva vaikutus riippuu rehun pH:sta ja hapon pK_a -arvosta, joka määrittelee sen kuinka suuri osa haposta on dissosioituneessa muodossa rehun pH:ssa. Mitä vahvempi happo on, sitä pienempi protolysoitumiskerroin on ja sitä voimakkaammin se dissosioituu. Erityisesti propionihappoa lisätään säilörehuun yleensä lisäämään aerobista stabiilisuutta sen hiivoja ja homeita torjuvan vaikutuksen takia (Kung Jr ym. 2003). Propionihaposta on kehitetty helppoliukoisia suolamuotoja sen käsittelyn helpottamiseksi. Vaikutuksista eläimiin ei ole saatu yhtenäisiä tutkimustuloksia. Propionihapon on todettu toimivan tehokkaammin muiden happojen

kanssa seoksena, koska sen toiminta tehostuu ympäristön pH:n ollessa pieni (Kung Jr ym. 2003).

Sorbaattia on käytetty pääasiassa hiivojen ja homeiden torjuntaan, mutta sillä on myös joitain bakteereja torjuvia ominaisuuksia (Kung Jr ym. 2003). Sorbaattia käytetään sekä sen happo- että kaliumsuolamuodossa. Hiivoja ja homeita torjuva vaikutus perustuu sorbaatin solulimaa happamoittavaan vaikutukseen. Bentsoehapon suolat ovat myös yleisesti käytettyjä suoloja rehun säilönnässä. Bentsoehapon antifungaalinen vaikutus on sitä voimakkaampi, mitä pienempi rehun pH on, sillä silloin haposta suurempi osa on dissosioitumattomassa muodossa (McDonald ym. 1991).

2.5.1 Homofermentatiiviset maitohappobakteerit

Homofermentatiivisilla maitohappobakteereilla tarkoitetaan yleisesti sellaisia bakteereita, joiden aineenvaihdunnassa syntyy vain maitohappoa (McDonald ym. 1991, Kung Jr ym. 2003). Homofermentatiiviset maitohappobakteerit hajottava käymisreaktiossaan glukoosia kahdeksi maitohappomolekyyliksi ja kahdeksi ATP-molekyyliksi. ATP:n bakteeri käyttää omaan kasvamiseensa ja maitohappo vapautuu ympäristöön. Rehujen säilöntään on valikoitunut sellaisia maitohappobakteerikantoja jotka kestävät hyvin happamia olosuhteita, tuottavat paljon ja nopeasti happoa kasvien hiilihydraateista ja kasvavat yleisesti hyvällä menestyksellä rehumassassa erilaisissa olosuhteissa (McDonald ym. 1991).

Bakteerikantojen välillä on näissä ominaisuuksissa useimmiten jonkin verran eroja ja sen takia niitä käytetäänkin useimmiten seoksina. Bakteeriseoksiin pyritään valikoimaan bakteereita, jotka toimivat eri nopeudella ja eri pH-alueilla, jotta pH saataisiin alusta asti laskemaan mahdollisimman tehokkaasti (Kung Jr ym. 2003). *Lactobacillus plantarum* on homofermentatiivinen maitohappobakteeri, joka on yksi yleisimmistä säilönnässä käytetyistä maitohappobakteereista (McDonald ym. 1991). Se tuottaa nopeasti maitohappoa ja laskee rehun pH:n kuiva-ainepitoisuudelle sopivalle tasolle, mutta pitää samalla ammonium- ja etikkahappopitoisuudet pieninä. *L. plantarum*in liittyvä ongelma on, ettei se tuota maitohappoa kovin nopeasti pH:n ollessa yli 5.0. Tämän takia sen kanssa säilönnässä käytetään yleensä muita bakteerikantoja,

jotka tuottavat jo neutraalimmassa pH:ssa maitohappoa (McDonald ym. 1991). Tällaisia bakteerikantoja löytyy muun muassa *Pediococci*-suvusta. Ne pystyvät toimimaan kuivemmissa ja happamissa olosuhteissa ja ovat lämmönkestävämpiä kuin *Lactobacillus* -suvun bakteeri ja näin ollen täydentävät hyvin Lactobacillusten puutteita (Kung Jr ym. 2003).

2.5.2 Heterofermentatiiviset bakteerit

Heterofermentatiiviset bakteerikannat tuottavat useampaa kuin yhtä lopputuotetta aineenvaihdunnassaan. Jaottelu homo- ja heterofermentatiivisiin bakteereihin ei kuitenkaan ole kovin jyrkkä, sillä jotkin homofermentatiiviset maitohappobakteerit voivat tuottaa myös muita aineenvaihduntatuotteita, kun energiaa on rajoitetusti saatavilla (McDonald ym. 1991). Säilönnässä käytettävissä bakteerikannoissa muut käymistuotteet ovat orgaanisia happoja kuten etikka-, maito- ja propionihappoa sekä hiilidioksidikaasua (Kung Jr ym. 2003). Näillä bakteereilla ei ole fruktoosidifosfaattialdolaasia, jonka seurauksena aineenvaihdunnassa syntyvät tuotteet eroavat homofermentatiivisista bakteereista. Heterofermentatiivisilla maitohappobakteereilla on todettu syntyvän enemmän säilönnän aikaisia kuiva-ainetappioita kuin homofermentatiivisilla maitohappobakteereilla. Tämä johtuu siitä, että etikkahapon tuotannossa vapautuu hiilidioksidia (McDonald ym. 1991, Wilkinson ja Davies 2013). Tappioiden on kuitenkin arvioitu kompensoituvan myöhemmin ainakin osittain pötsikäymisen aikana, sillä etikkahappo on suoraan imeytymiskykyinen haihtuva rasvahappo pötsissä, kun taas maitohapon muuttamisessa propionihapoksi vapautuu vetyä ja se lisää näin metaanin tuotantoa (Wilkinson ja Davies 2013).

Lactobacillus buchneri on yksi yleisimmin käytetyistä heterofermentatiivisista bakteereista (McDonald ym. 1991, Kung Jr ym. 2003, Wilkinson ja Davies 2013). *L. buchnerin* säilönnällinen vaikutus perustuu pääasiassa sen etikkahapon pitoisuutta lisäävään vaikutukseen ja näin ollen se parantaa aerobista stabiilisuutta. Etikkahapolla on tutkimusten mukaan antifungaalinen vaikutus eli se estää sienien kasvua. Lisääntynyt rehun etikkahappopitoisuus saattaa kuitenkin vähentää rehun maittavuutta ja heikentää eläinten rehun syöntiä (Kung Jr ym. 2003). Lisäksi sen on todettu jois-

sain tapauksissa heikentävän homofermentatiivista käymistä ja näin lisäävän rehussa tapahtuvaa valkuaisten hajotusta (Kung Jr ym. 2003)

L. buchneri on yksi yleisimmin käytetyistä heterofermentatiivisista bakteerikannoista ja sen on myös todettu lisäävän propionihapon pitoisuutta rehussa tuottamalla rehuun 1,2-propaanidiolia, jonka säilörehussa luontaisesti esiintyvä *Lactobacillus delvorigans* muutta propionihapoksi ja 1-propanoliksi (Kung Jr ym. 2003, Wilkinson ja Davies 2013). Ainoana bakteerina käytettynä se ei kuitenkaan pysty laskemaan rehun pH:ta riittävän pieneksi, joten säilönnällinen laatu jää usein pelkällä heterofermentatiivisella bakteerilla melko heikoksi (Wilkinson ja Davies 2013). Heterofermentatiivisessa käymisessä tuotetut hapot ovat huomattavasti heikompia happoja kuin maitohappo eivätkä näin ollen saa laskettu rehun pH:ta riittävän matalle estääkseen haitallisten mikrobien kasvua (Kung Jr ym. 2003, Wilkinson ja Davies 2013)

Rehun säilöntään on käytetty myös anaerobisia propionibakteereita, mutta niiden on todettu olevan vaativampia olosuhteiden suhteen kuin *L. buchnerin*. Propionibakteerit menestyvät parhaiten, kun rehun pH laskee hitaasti ja vettä on riittävästi (Kung Jr ym. 2003). Propionibakteerit toimivat yhdessä *Lactobacillusten* kanssa ja käyttävät maitohappoa substraattinaan. Ne muodostavat kolmesta maitohaposta kaksi propionihappomolekyyliä ja yhden etikkahappomolekyylin sekä yhden hiilidioksidimolekyylin (Kung Jr ym. 2003).

2.5.3 Entsyymit

Entsyymeillä pyritään säilönnässä lisäämään käymisen substraatteja, jotta käyminen olisi mahdollisimman tehokasta ja rehun pH saataisiin säilyvyyden kannalta riittävän alas. Tavallisimmin käytettyjä entsyymikomplekseja ovat sellulaasi- ja hemisellulaasikompleksit, jotka sisältävät useita ketjussa toimivia entsyymejä tarkoituksenaan irrottaa riittävä määrä glukoosia käymiseen (Kung Jr ym. 2003). Säilöntäaineisiin valitaan sellaisia entsyymityyppejä, jotka pystyvät toimimaan rehun säilönnän aikana vallitsevissa olosuhteissa eli muun muassa laskevassa pH:ssa, muuttuvassa lämpötilassa ja niiden tulee kyetä vapauttamaan mahdollisimman nopeasti glukoosia maitohappokäymiseen. Entsyymien on myös toimittava eri kuiva-aineissa ja kasvuston kasvuasteissa (Kung Jr ym. 2003).

Entsyymien lisäämisellä rehuun säilöntäaineen mukana voidaan toisaalta myös tavoitella rehun ruokinnallisen arvon parantumista (McDonald ym. 1991, Kung Jr ym. 2003). Tästä asiasta on olemassa paljon ristiriitaisia tutkimuksia. Useissa tutkimuksissa on kuitenkin todettu, että entsyymien lisääminen rehuun vähentää kuidun määrää ja jäljelle jäävä kuituaine on heikommin sulavaa kuin raaka-aineessa oleva kuitufraktio (Kung Jr ym. 2003).

2.5.4 Luomutuotannon erityispiirteet säilöntäainevalintaa tehtäessä

Luonnonmukaisessa tuotannossa säilöntäaineiden valinnassa on otettava huomioon säilöntäaineiden hyväksyttävyyden luomutuotannossa. Jotta säilöntäaine on luomuhyväksytty, sen perusedellytyksenä on, että kaikkien säilöntäaineen ainesosien pitää olla EU:n hyväksymiä (EU No 1831/2003) rehulisäaineita. Elintarviketurvallisuusvirasto on lakannut ylläpitämästä listaa luomutuotannossa sallituista säilöntäaineista (Evara 2013). Tämä tarkoittaa sitä, että tuotteen myyjät ovat velvollisia selvittämään soveltuuko tuote luomutuotannossa käytettäväksi. Viimekädessä vastuu sallitun säilöntäaineen valinnasta on viljelijällä itsellään. Säilöntäainevalmistajien tulee merkitä luomuhyväksytyjen säilöntäaineiden pakkaukseen lause: ”Voidaan käyttää luonnonmukaisessa tuotannossa asetuksen EU N:o 834/2007 ja EU N:o 889/2008 mukaisesti”. Lisäainerekisterin uudelleen arviointi on tällä hetkellä käynnissä, joten sallittujen lisäaineiden luettelo voi muuttua arvioinnin edetessä (sähköposti kirjoittajalle Eeva Saarisalolta MMM:stä 1.7.2014). Tällä hetkellä luomutuotannossa sallittuja lisäaineita ovat kaikki EU:n hyväksymät entsyymit ja mikro-organismit, jotka eivät ole geenimanipuloituja tai tuotettu geenimanipuloiduista kannoista (EU 505/2012 Liite IV). Rehujen säilöntään saa lisäksi käyttää sorbiinihappoa, muurahishappoa, natriumformiaattia, etikkahappoa, maitohappoa, propionihappoa ja sitruunahappoa, mikäli sääolot eivät muuten salli riittävää käymistä (EU N:o 834/2007). Myöhemmin sallittujen säilöntäaineiden listaukseen on lisätty muun muassa ammoniumformiaatti (EU N:o 505/2012).

3. Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimus kuului Edistystä luomutuotantoon- hankkeeseen, joka oli entisen Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) nykyisen Luonnonvarakeskuksen (Luke) hallinnoima hanke. Hankkeen tavoitteena oli luonnonmukaisen rehukasviviljelyn ja eläintuotannon kannattavuuden parantaminen. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää laboratoriomittakaavassa erilaisten säilöntäaineiden soveltuvuutta hernevehnä- ja härkäpapuvehnäsäilörehujen säilönnässä. Säilörehuista tutkittiin niiden säilönnällinen laatu ja mitattiin niiden aerobista stabiilisuutta. Tavoitteena oli saada lisää tietoutta palkokasvien kokoviljasäilönnästä, jotta sitä voitaisiin tulevaisuudessa paremmin hyödyntää myös suomalaisessa luomutuotannossa paremmin. Tutkimushypoteesina oli, että erityyppiset säilöntäaineet vaikuttavat eritavoin valmiin rehun käymislatsuun, mikrobiologiseen laatuun ja aerobiseen stabiiliuteen. Näiden erojen kvantifiomiseksi toteutettiin säilöntäkoelaboratoriomittakaavassa.

4. Aineisto ja menetelmät

4.1 Kasvusto

Säilöntäkokeen kasvustot sijaitsivat Luonnonvarakeskuksen (Luke ent. MTT) Ruukin (N 64° 41,2', E 25° 5,3') vuokrapelloilla Siikajoella. Herne Florida (Plantanova Oy) kylvettiin 4.6.2013 ja härkäpapu Fuego (Plantanova Oy) kylvettiin 6.6.2013 noin 6-8 cm syvyyteen. Vehnä Anniina (Tilasiemen Oy) kylvettiin herneen ja härkäpavun päälle 7.6.2013. Hernettä kylvettiin 138 kg/ha ja vehnää samalle lohkolle 75 kg/ha. Härkäpapua kylvettiin 174 kg/ha ja vehnää samalle lohkolle 75 kg/ha. Hernevehnäseoskasvustoa lannoitettiin ennen kylvöä 22 m³:lla lietettä (37,2 N kg/ha, 5,6 P kg/ha, 39,6 K kg/ha). Härkäpapuvehnäseoskasvustoa lannoitettiin kompostilla 14 tn/ha (50,4 N kg/ha, 27 P(K) kg/ha, 61 K(K) kg/ha).

Korjuupäivänä 26.8.2013 vehnä oli aikaisella taikinatuleentumisasteella. Härkäpavussa palot olivat jo hyvin täyttyneet, kun taas herneellä palkojen täyttyminen oli vielä jonkin verran kesken.

4.2 Siilot ja muut tarvikkeet

Säilöntä tehtiin tilavuudeltaan 12 litran suuruisiin pleksisiiloihin. Siilot koostuvat noin 12 cm halkaisijaltaan olevasta läpinäkyvästä pleksiputkesta ja pohjaneliöstä sekä pienestä alaputkesta, josta mahdollinen puristeneste voidaan koota talteen. Siilot pestiin ja kuivattiin ennen säilöntää. Siilojen tiiviys myös testattiin ennen säilöntää.

Siilot painotettiin 2 kg:n vesipusseilla ja 7-8 kg:n lyijypainoilla. Näin ollen rehujen päällä säilönnän aikana oli noin 200 kg/m² painoa. Lisäksi siilot peitettiin muovipusseilla ja kansilla, jotka ovat siiloihin sisälle sopiviksi leikattu. Siilot suojattiin valolta mustilla jätösäkeillä.

4.3 Säilöntäaineet

Kokeessa oli neljä käsittelyä: kontrolli eli painorehu (PR), muurahaishappo sekä kaksi heterofermentatiivista maitohappobakteerivalmistetta. Kokeeseen valittujen säilöntäaineiden ensimmäisenä kriteerinä oli niiden luomuhyväksyntä. Toisaalta pyrittiin valitsemaan mahdollisimman erityyppisiä säilöntäaineita.

Muurahaishappopohjainen säilöntäaine (MH) sisälsi 59 paino-%:a muurahaishappoa, 20 %:a propionihappoa, 4 %:a ammoniumformiaattia, 2,5 %:a bentsoehappoa/sorbaattia ja 14 %:a vettä (AIV® Ässä, Taminco Finland Oyj). Säilöntäainetta annosteltiin 5 litraa tonnille rehua.

Ensimmäinen maitohappobakteerivalmiste (B1) sisälsi *Lactobacillus plantarumia*, *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus buchneriä* ja *Lactococcus lactista* (Bonsilage Alfa, Schaumann co.). B1 annosteltiin rehuun valmistajan ohjeen mukaan 4 l/t eli $2,5 \times 10^5$ pmy/g tuoreessa rehussa.

Toinen heterofermentatiivinen maitohappobakteerivalmiste (B2) sisälsi *Lactobacillus plantarumia* ($> 5,00E +10$ pmy/g), *Pediococcus pentosaceusia* ($> 2,0E +10$ pmy/g), *Pediococcus acidilacticia* ($> 2,00E +10$ CFU/g), *Propionibakterium acidipropionicia* ($> 1,00E +10$ pmy/g), amylaasia ($> 1,80$ BAU/g), sellulaasia (30 CMC/g), β -glukanaasia (>500 IU/g) ja ksylanaasia (>750 IU/g) (SilAll 4x4, Alltech Ltd.). Säilöntäainetta annosteltiin valmistajan ohjeen mukaisesti laimennettuna 4 litraa tonnille rehua eli 1×10^6 pmy/g tuoretta rehua.

Kokeen kontrollirehuna toimi niin sanottu painorehu (PR) eli sen säilönnässä ei käytetty mitään säilöntäainetta eikä siihen lisätty myöskään vastaavaa määrää vettä muihin säilöittäviin rehueriin verrattuna.

4.4 Korjuu ja säilöntä

Pleksisiilosäilöntään tarkoitetun rehun korjuu härkäpapu-vehnä-kasvuston osalta alkoi 26.8.2013 noin kello 11.10 ja herne-vehnäkasvuton korjuu kello 14. Korjuu suoritettiin paikallisen urakoijan ajosilppuriketjulla, jossa ajosilppuri (Claas Jaguar

870, Claas co.) silppusi suoraleikkuupäällä kasvuston ja puhalsi ensin muutaman metrin matkalta rehun toisiin kärryihin ilman säilöntäainetta, jotta kone saatiin puhdistettua mahdollisista edellisistä rehujuämistä. Ajosilppuri silppusi kasvustoa noin 10 metrin matkalta pienempiin kärryihin. Kärry kuljetettiin välittömästi konehallirakennukselle, jossa säilöntä suoritettiin.

Rehua punnittiin puhtaisiin etanolilla desinfioituihin muovilaatikoihin noin 18 kg per laatikko, mutta kuitenkin niin, että jokaista käsittelyä kohti varattiin 35 kg säilöttävää rehumassaa. Laatikoiden täytön ohessa otettiin säilörehun raaka-aineesta raaka-ainenäyte ja raaka-aineen mikrobiologinen näyte. Raaka-ainenäyte vietiin pakkaseen välittömästi sen ottamisen jälkeen ja mikrobiologinen näyte kylmiöön odottamaan kuljetusta Luken toimipisteeseen Jokioisille.

Säilöntäaineet annosteltiin valmiiksi omiin pulloihinsa 35 kg:lle säilörehuraaka-ainetta. Säilöntäaineiden annostelu tehtiin maitohappobakteeriseosten osalta laimentamalla maitohappobakteerivalmisteet ensin yhteen litraan vettä mittapulloon, ottamalla siitä 50 ml mittalasi ja laimentamalla tämä määrä edelleen mittapulloon yhteen litraan vettä. Tästä laimennoksesta pipetoitiin 5 ml pipetillä tarvittava määrä mittalasiin ja laimennettiin edelleen vastaamaan säilöntäaineen ohjeen mukaista laimennuskoostumusta.

Valmiiksi punnitut raaka-aineet kaadettiin lattialle levitettyjen puhtaiden muovien päälle ja levitettiin tasaiseksi kerrokseksi säilöntäaineen levitystä varten. Säilöntäaine levitettiin muovipulloissa, joissa oli reikäkorkit. Säilöntäaine levitettiin parhaan sekoitustuloksen saamiseksi kolmessa osassa. Joka levityksen jälkeen säilöttävä rehumassa sekoitettiin mahdollisimman perusteellisesti ja tasoitettiin uudelleen säilöntäaineen levitystä varten.

Jokaisesta säilöntäainekäsittelystä tehtiin kolme rinnakkaista siiloa, jotka täytettiin samanaikaisesti. Näin pyrittiin varmistamaan siilojen tasainen täytyminen ja yhtäläinen rehun tiiviys. Rehua annosteltiin kuhunkin siiloon pieniä määriä kerrallaan ja se sullottiin tiiviisti siiloon desinfioidun männän avulla. Siilot täytettiin mahdollisimman tarkkaan 12 litran merkkiin asti eli hernevehnäsiiloihin noin 9 kg/siilo ja härkäpapevehnäsiiloihin 11 kg/siilo rehua.

Härkäpapu-vehnäsiilot oli peitetty ja painotettu kello 13.30 ja herne-vehnäsiilot kello 15.50 konehalliin trukkilavojen päälle. Siiloja varastoitiin Luke Ruukin tutkimus- asemalla ensin konehallissa, mutta ne siirrettiin ilmojen kylmetessä kasvihuoneeseen, jotta siilot eivät pääsisi jäätymään. Siiloista ei päästetty puristenestettä pois säilönnän aikana.

4.5 Siilojen avaaminen

Siilot avattiin Luke Jokioisten koe-eläintallilla 106 säilöntäpäivän jälkeen 9.12.2013. Siilot kuljetettiin Jokioisille muutamaa päivää aiemmin rekalla. Siiloja säilytettiin ennen niiden avaamista kylmiössä, jottei siilojen siirrosta aiheutuva lämpötilanvaihtelu vaikuttaisi rehujen ominaisuuksiin.

Siilojen avaaminen aloitettiin poistamalla painot rehujen päältä ja punnitsemalla siilot, jotta saatiin selville kuinka paljon rehut olivat menettäneet painoa säilönnän aikana. Osa siiloista oli vuotanut puristenestettä säilönnän aikana, joten näitä tuloksia ei voida pitää luotettavina. Rehun pinnalla olevan homeen ja muiden pilaantumisen merkkien määrä arvioitiin silmämääräisesti ja kirjattiin jokaisen siilon osalta muistiin. Tämän jälkeen siilojen pinnalta poistettiin noin viisi senttimetriä rehua pintapilaantumisen näytteisiin joutumisen estämiseksi. Siilojen paljaana oleva sisäpinta puhdistettiin huolellisesti etanolilla, jotta rehuun ei sekoittuisi ulkopuolisia bakteereita. Puhdistamisen jälkeen loppu rehu puhallettiin paineilmalla puhtaan muovin päälle ja sekoitettiin tasaiseksi massaksi käsi. Rehusta kerättiin näytteet kemiallisiin, mikrobiologisiin ja aerobisen stabiilisuuden mittauksiin.

4.6 Analyysimenetelmät

4.6.1 Raaka-aineen kemiallinen koostumus

Säilörehun raaka-aineen ja valmiin säilörehun kemiallisen koostumuksen ja säilönällisen laadun määritykset tehtiin Luke Jokioisten laboratoriossa. Laboratorion laatu- järjestelmä noudattaa SFS-EN ISO/IEC 17025:2005 standardeja ja on akreditoitu

FINASin (the Finnish Accreditation Service) toimesta numerolla T024. Kuiva-ainepitoisuus määritettiin kuivamalla rehua 105 °C:ssa 16 tuntia. Tuhkapitoisuus määritettiin käyttämällä standardoitua AOAC metodia (1990, metodi 942.05). Typpipitoisuus määritettiin Dumasin menetelmällä (AOAC metodi 968.06) käyttäen Leco FP 428 typpianalysaattoria. Raakavalkuaispitoisuus laskettiin kertomalla typpipitoisuus luvulla 6,25. NDF-pitoisuus määritettiin Van Soestin ym. (1991) menetelmällä käyttäen natriumsulfaattia ilman amylaasia ja esitettynä ilman tuhkaa. Vesiliukoiset hiilihydraatit määritettiin Somogyin (1945) mukaan ja puskurikapasiteetti määritettiin Playnen ja McDonaldin (1966) mukaan. Rehun orgaanisen aineen *in vitro* – sellulaasiliukoisuus määritettiin ja sulavuus laskettiin liukoisuuden perustella Huhtasen ym. (2006) mukaan.

Tulokset laskettiin seuraavien kaavojen mukaan:

ME-arvo laskettiin kaavalla (Luke 2015):

$$\text{ME (MJ/kg ka)} = 0,155 \cdot \text{D-arvo (g/kg ka)}$$

OIV-arvo laskettiin kaavalla (Luke 2015):

$$\text{OIV (g/kg ka)} = 11.4 + 0.092 \text{ D-arvo (g/kg ka)} + 0.089 \text{ RV (g/kg ka)}$$

PVT-arvo laskettiin kaavalla (Luke 2015):

$$\text{PVT (g/kg ka)} = -19.1 - 0.154 \text{ D-arvo (g/kg ka)} + 0.830 \text{ RV (g/kg ka)}$$

D-arvo laskettiin yleisellä laskukaavalla Huhtasen ym. (2006) mukaan:

$$\text{D-arvo} = 0.040 + 0.89 \cdot \text{OAL},$$

jossa OAL orgaanisen aineen liukoisuus (*in vitro*)

Puskurikapasiteetti milliekvivalenteina Weissbachin (1992) mukaan (PKmekv):

$$\text{PKmekv} = ((\text{maitohappomäärä (g)}) / 90,08) \times 1000$$

jolloin puskurikapasiteetti maitohappona mitattuna on:

$$\text{PKmaito} = (\text{PKmekv} / 1000) \times 90,08$$

Säilöttävyyskerroin laskettiin Schmidtin ym. (1971) mukaan:

$$\text{SK} = \text{KA (\%)} + 8 \times (\text{SSH} / \text{PKmaito}),$$

jossa KA= kuiva-aine

SSH= solunsisällyshiilihydraatit (g/kg ka)

PKmaito= puskurikapasiteetti (g maitohappoa/kg ka)

4.6.2 Säilönnällinen laatu

Säilörehun haihtuvat rasvahapot määritettiin Huhtasen ym. (1998), maitohappo Haackerin ym. (1983), sokerit Somogyin (1945) ja ammoniakki McCulloughin (1967) mukaan. Muurahaishappopitoisuus määritettiin kaupallisella KONEen (KONE Instruments, Espoo, Suomi) valmistamalla laitteistoilla. Etanolipitoisuus määritettiin entsyymaattisella menetelmällä (Cat No.981680, KONE Instruments Corporation, Espoo; Suomi) valikoivaa kliinisen kemian analysaattoria Pro 981489 (KONE Instruments) käyttäen, joka on KONEen valmistama. Säilörehun kuiva-ainepitoisuus korjattiin haihtuvien aineosien pitoisuudella Huida ym. (1986) mukaan.

Tuloksissa olevat laskennalliset tulokset laskettiin seuraavilla kaavoilla:

Syönti-Indeksi laskettiin Huhtanen ym. (2008) mukaan:

$$\begin{aligned} \text{Säilörehun syönti-indeksi} &= 100 + 10 \times \\ &[(D\text{-arvo} - 680) \times 0.017 \\ &- (\text{hapot} - 80) \times 0.0128 \\ &+ (0.0198 \times (KA - 250) - 0.00002364 \times (KA2 - 2502)) \\ &- 0.44 \times \text{jälkisatosäilörehun osuus} \\ &+ 4.13 \times \text{palkokasvien osuus} - 2.58 \times \text{palkokasvien osuus2} \\ &+ 5.90 \times \text{kokoviljasäilörehun osuus} - 6.14 \times \text{kokoviljasäilörehun osuus2} \\ &- 0.0023 \times (NDF-550)] \end{aligned}$$

Lisäksi ammoniumtyypen osuus kokonaistypestä ja propionihapon pitoisuudet on korjattu MH-säilöntäaineen sisältämien pitoisuuksien suhteen.

4.6.3 Mikrobiologinen laatu

Mikrobiologisten analyysien näytteet sekoitettiin ja 25 g punnittiin Stomacher pusseihin ja niihin lisättiin 225 ml ¼-vahvuista Ringerin liuosta (Merck 1.15525.0001). Näyte homogenoitiin Stomacher laitteella (Stomacher® 400 Circulator) 2 minuuttia ja 230 kierrosta minuutissa. Sarja kymmenesosalaimennoksia valmistettiin lisäämällä 1 ml näytettä 9ml:aan Ringerin liuosta. Hiivat ja homeet määritettiin kasvatusalustalla (Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol Agar medium DRBC, Difco 258710),

johon lisättiin 50 µg/ml oksitetrazykliinihydrokloridia (AppliChem BioChemica A5257). Petriمالjoja pidettiin 25 °C ± 1 °C:ssa viisi vuorokautta, jonka jälkeen pesäkkeet laskettiin. Aerobinen pesäkemäärä määritettiin Plate Count Agarilla (PCA, Difco 247940) maljassa, jota säilytettiin 30 °C asteessa 72 tuntia. Maitohappobakteerien määrät määritettiin MRS Agarilla (Lactobacilli MRS Broth, Difco 288130, Bacto Agar 15g/l, Difco 214010) maljassa, jota pidettiin anaeroobisissa olosuhteissa 30 °C asteen lämpötilassa 72 tuntia.

4.6.4 Säilörehun aerobinen stabiilisuus

Aerobinen stabiilisuus mitattiin erikseen jokaisesta rinnakkaisesta säilörehusiilosta ja osasta kokeen säilörehuista tehdyistä seosrehuista. Seokset sisälsivät säilörehua ja litistettyä viljaa (kauraa ja ohraa samassa suhteessa) kuiva-aineiden suhteessa 1:1 sekä mäskiä. Viljaseos oli sama kaikissa seoksissa. Lisäksi osassa seoksissa oli olkea. Seoksien tarkempi koostumus näkyy taulukossa 1. Aerobinen stabiilisuus mitattiin seuraamalla rehun lämpötilan muutosta, kun ne altistuvat hapelle. Rinnakkaiset säilörehunäytteet ja seokset punnittiin ja laitettiin 2,5 dm³:n styrox-laatiokoihin. Lämpötila mitattiin säännöllisesti 10 minuutin välein käyttäen lämpötila-atureita, jotka oli kytketty dataloggeriin. Aerobinen stabiilisuus mitattiin aikana, joka kului ennen kuin rehun lämpötila oli noussut 2,00 °C alkuperäisestä lämpötilasta. Mittaukset lopetettiin 9 päivää mittauksen aloittamisesta ja muutokset kuiva-ainepitoisuudessa ja säilönnällisessä laadussa tutkittiin jäljellä olevista näytteistä.

Taulukko 1. Aerobisen stabiilisuuden testissä olleet rehut

Mitattava rehu	Säilörehu (g)	Väkirehu (g)*	Olki (g)**	+ väkirehu	Yhteensä (g)
Säilörehu	850	-	-		850
Seosrehu ilman olkea	803	187	-		990
Seosrehu oljella	803	-	187		990

*Ohra-kaura-mäski-seos muodostettiin suhteessa 333-333-333 g/kg

** Ohra-kaura-mäski-olki-seos muodostettiin suhteessa 320-320-320-40 g/kg

4.6.5 Tilastolliset analyysit ja tulosten laskenta

Tilastolliset analyysit tehtiin SAS-ohjelmalla (SAS 9.3) GML-proseduurilla. Kokeen käsittelyjen vaikutukset rehujen säilönnälliseen laatuun ja säilönnän aikana tapahtuneisiin hävikkeihin tutkittiin varianssianalyysillä. Tilastollisena mallina käytettiin yhtälöä $Y = \mu_i + a_j + e_{ijk}$, jossa Y on havainto, μ on yleiskeskisarvo, a on käsittelyn vaikutus ja e on virhetermi. Hajonnan kuvaajana käytettiin keskiarvon keskivirhettä. Eroavaisuudet käsittelyjen välillä tutkittiin Tukeyn testillä.

5. Tulokset

5.1 Raaka-aineen koostumus ja mikrobiologinen laatu

Molemmat säilörehun raaka-aineet olivat korjuuhetkellä hyvin märkiä ja niiden välillä oli vain pieni ero. Hernevehnäsäilörehun raaka-aine oli hieman kuivempaa säilötäessä kuin härkäpapuvehnäsäilörehun raaka-aine (Taulukko 2). Rehun kuivaainesato oli hernevehnäsäilörehulla 6 839 kg/ha ja härkäpapusäilörehulla 6 783 kg/ha. Hernevehnä (n. 208 cm) oli myös kasvustoltaan hieman pidempää kuin härkäpapuvehnä (n. 154 cm).

ME-, raakavalkuais-, OIV-, PVT-, tuhka- ja vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuudet olivat hernevehnäraaka-aineessa suurempia kuin härkäpapuvehnäsäilörehun raaka-ainenäytteenä. Härkäpapuvehnässä oli puolestaan enemmän varastohiilihydraatteja eli NDF:ää ja tärkkelystä kuin hernevehnässä.

Taulukko 2. Raaka-aineen koostumus (g/kg ka, jollei muuta mainita)

	Hernevehnä	Härkäpapuvehnä
Kuiva-aine (g/kg)	181	173
Tuhka	70,1	63,1
Raakavalkuainen	206	177
Vesiliukoiset hiilihydraatit	176	156
Tärkkelys	76,1	93,9
NDF	392	476
Org. aineen sulavuus (g/kg OA)	764	710
D-arvo	680	632
ME (MJ/kg ka)	10,5	9,80
OIV	92,3	85,3
PVT	46,2	30,5
Puskurikapasiteetti (mekv/kg ka)	431	402
Säilöttävyyskerroin	54,3	51,7

NDF= neutraalidetergenttikuitu, OA= orgaaninen aine, ME= muuntokelpoinen energia, OIV= ohut-suolesta imeytyvä valkuainen, PVT= pötsin valkuaisaste

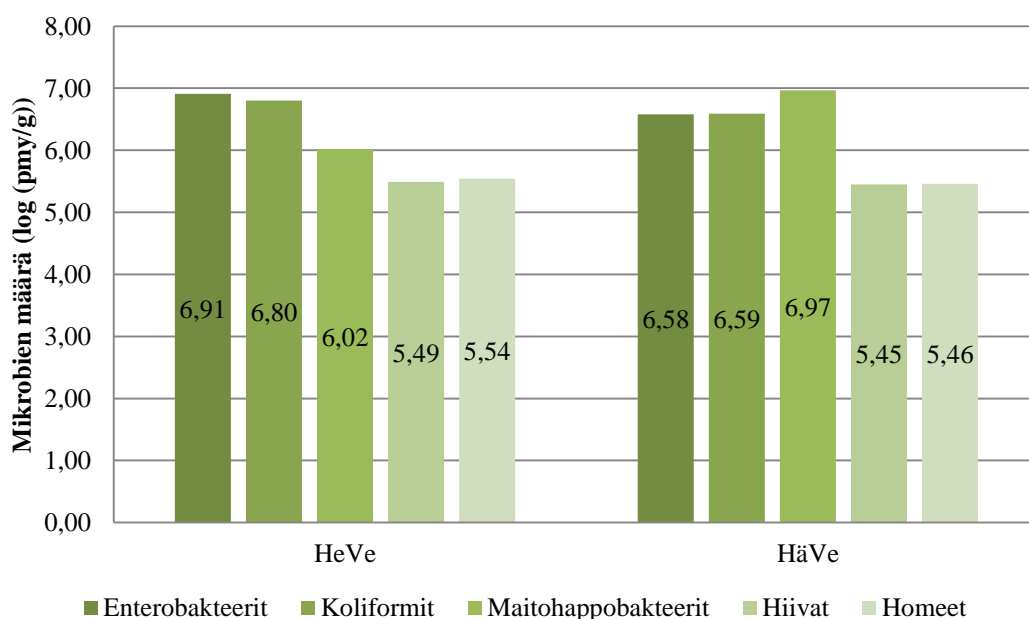
Raaka-aineen *in vitro* -sulavuuksissa oli eroa kasvustojen välillä, sillä hernevehnän orgaaninen aine oli huomattavasti sulavampaa ja D-arvo suurempi kuin härkäpapuvehnän. Hernevehnäraaka-aineen puskurikapasiteetti oli jonkin verran suurempi kuin härkäpapuvehnäraaka-aineessa. Hernevehnärehussa oli toisaalta kuitenkin suurempi

säilöttävyyserroin, joka kertoo, että se oli hieman härkäpapuvehnärehua helpompaa säilöä. Säilöttävyyserkertoimet ovat kuitenkin suuruus luokaltaan hyvin samansuuruisia.

Taulukko 3. Botaanisen analyysin tulokset

Osuus (g/kg ka)	Hernevehnä	Härkäpapuvehnä
Palkokasvit	0,892	0,837
Vehnä	0,107	0,149
Rikat	0,002	0,014

Botaanisen analyysin perusteella hernevehnäraaka-aine sisälsi enemmän palkokasveja kuin härkäpapuvehnäraaka-aine. Myös rikkoja oli vähemmän hernevehnäraaka-aineessa (Taulukko 3). Kummassakin kasvustossa rikkoja oli kuitenkin hyvin vähän. Palkokasvien ja vehnän suhde oli odotettua suurempi.



Kuva 1. Raaka-aineen mikrobiologinen laatu logaritmisena taulukkona. HeVe= hernevehnäseoskasvusto, HäVe= härkäpapuvehnäseoskasvusto.

Rehuraaka-aineiden mikrobiologista laatua ei testattu tilastollisesti, joten merkitseviä eroja ei pystytä osoittamaan tuloksista. Hernevehnä- ja härkäpapuvehnäseoksissa oli mikrobiologiseen laatuun vaikuttavia mikrobeja hieman eri suhteissa, mutta pääpiirteittäin molempien kasvustojen mikrobiologiset koostumukset olivat melko lähellä toisiaan (Kuva 1). Härkäpapuvehnässä oli tulosten perusteella enemmän epifyyttisiä

maitohappobakteereita kuin hernevehnässä. Hernevehnäseoksessa oli kaikkein eniten enterobakteereita ja seuraavaksi eniten koliformeja. Maitohappobakteereja, homeita ja hiivoja oli enterobakteereja ja koliformeja huomattavasti vähemmän.

Härkäpapuvehnäseoksessa oli eniten maitohappobakteereja ja jonkin verran myös koliformeja ja enterobakteereja. Vähiten oli hiivoja ja homeita kuten hernevehnäsäilörehun raaka-aineessakin.

5.2 Säilörehun käymislaatu

Rehuista ei laskettu säilönnän aikana puristenestettä pois, vaikka osaan siiloja sitä erittyi. Siilojen avaamisen yhteydessä rehut punnittiin ja rehuista laskettiin säilönnän aikana tapahtunut painohävikki, joka oli keskimäärin 4,4 % (vaihteluväli 0,9-9,9 %). Tätä tulosta ei kuitenkaan voida pitää luotettavana, koska osa siiloista oli vuotanut säilönnän aikana puristenestettä.

Härkäpapurehut olivat keskimäärin hernerehuja mämpiä ($p < 0,001$). Käsittelyjen välisessä tarkastelussa havaitaan kuitenkin, että vain hernevehnän MH- ja B1- käsittelyt olivat härkäpapuvehnärehuja merkitsevästi kuivempia ($p < 0,05$). MH-rehujen pH:t olivat huomattavasti suurempia verrattuna PR-, B1- ja B2-rehuihin ($p < 0,05$).

Muurahaishappopitoisuudet analysoitiin vain niistä rehuista, joissa sitä oli käytetty säilöntäaineena. Pitoisuus oli MH-rehuissa keskimäärin 183 g/kg ka. Rehujen kuiva-ainepitoisuuksien ero ei näin ollen vaikuttanut muurahaishapon annostukseen rehun kuiva-ainekiloa kohden.

Maitohappopitoisuus oli pienin härkäpapuvehnän MH-rehussa ($p < 0,05$). Hernevehnän MH-rehussa pitoisuus oli myös pienempi kuin PR-, B1- ja B2-rehuissa, mutta kuitenkin huomattavasti suurempi kuin härkäpapuvehnän MH-rehussa ($p < 0,05$). Suurin maitohappopitoisuus oli hernevehnän painorehulla, mutta se erosi merkitsevästi vain MH-rehuista ja härkäpapuvehnän B1-rehusta ($p < 0,05$). Hernevehnäsäilörehuissa maitohappopitoisuudet olivat keskimäärin suuremmat kuin härkäpapuvehnärehussa ($p < 0,001$).

Maito- ja muurahaishapon yhteispitoisuus oli pienin härkäpapuvehnän MH-käsittelyssä ($p < 0,05$). Myös hernevehnän MH-käsittelyssä maito- ja muurahaishapon yhteispitoisuus oli pienempi kuin PR-, B1- ja B2-rehuissa, mutta kuitenkin huomattavasti suurempi kuin härkäpapuvehnän MH-käsittelyssä ($p < 0,05$).

Etikkahappoa oli eniten kontrollirehuissa ja biologisilla säilöntäaineilla säilötyissä rehuissa ($p < 0,05$). Säilöntäaineiden välillä havaittava ero oli keskimäärin merkitsevä ($p < 0,001$). Pienin etikkahappopitoisuus oli härkäpapuvehnän MH-rehulla eli säilöntäaineella ja kasvilajilla oli yhdysvaikutus etikkahappopitoisuuden suhteen ($P < 0,001$). Myös hernevehnän MH- ja B1-rehuilla etikkahapon pitoisuus oli muita käsittelyjä pienempi, mutta kuitenkin suurempi kuin härkäpapuvehnän MH-rehussa ($p < 0,05$).

Muurahaishapolla säilötyissä rehuissa oli kuitenkin merkitsevästi enemmän propionihappoa verrattuna kontrollirehuun ja biologisilla säilöntäaineilla säilötyihin rehuihin ($p < 0,05$). Muurahaishapolla säilötyissä rehuissa rehujen välillä oli myös vaihtelua, sillä härkäpapuvehnäsäilörehussa propionihappoa oli enemmän kuin hernevehnäsäilörehussa ($p < 0,05$). Tämä kuvaa säilöntäaineen ja kasvilajin välistä yhdysvaikutusta ($p < 0,001$).

Kasvilajien välillä ei ollut keskimäärin eroja rehujen voihappopitoisuuksien välillä. Hernevehnäsäilörehun kontrollikäsittelyssä oli eniten voihappoa. Ero oli merkitsevä kaikkiin muihin käsittelyihin verrattuna ($p < 0,05$) paitsi härkäpapuvehnän MH-käsittelyyn rehuun. Härkäpapuvehnän MH-käsittely ei eronnut muista käsittelyistä voihappopitoisuutensa suhteen. Säilöntäkäsittelyllä ei ollut merkitsevää vaikutusta isovaleriaanahapon pitoisuuteen. Sitä oli kokeen rehuissa vain hernevehnäsäilörehun PR-rehussa ja härkäpapuvehnän MH-rehussa. Valeriaanahappoa ei ollut missään kokeen rehuista. Kapronihappoa ei ollut kaikissa kokeen rehuissa. Kasvilajilla tai säilöntäaineella ei myöskään havaittu keskimäärin merkitseviä vaikutuksia siihen. Hernevehnän PR-käsittelyn kapronihappopitoisuus oli merkitsevästi suurempi kuin hernevehnän B1- ja B2-käsittelyn sekä härkäpapuvehnän PR- ja MH-käsittelyn pitoisuus ($p < 0,05$).

Härkäpapuvehnän MH-rehussa oli vähiten yhteensä VFA:ta ja kasvilajilla ja säilöntäaineella oli yhdysvaikutusta ($p < 0,001$). Biologisilla säilöntäaineilla ja kontrollikäsittelyillä säilötyissä rehuissa VFA-pitoisuudet olivat eniten koholla ($p < 0,05$). Suurin

vaikutus näihin eroihin oli etikkahappopitoisuuksilla, joissa merkitsevää eroa havaittiin eri käsittelyjen välillä. VFA-pitoisuudet olivat härkäpapurehuissa suurempia, kuin hernevehnäsäilörehuissa ($p < 0,001$). Kontrollikäsitteilyssä pitoisuuksilla ei puolestaan ollut kovin suurta eroa ja muurahaishappopohjaisella säilöntäaineella säilötyissä rehulla hernevehnäsäilörehussa VFA-pitoisuus on suurempi kuin härkäpapurehussa.

Härkäpapurehnan MH-rehussa oli vähemmän happoja yhteensä kuin muissa rehuissa ($p < 0,05$). Hernevehnan MH-rehussa happoja oli myös vähemmän kuin PR-, B1- ja B2-rehuissa, mutta enemmän kuin härkäpapurehnan MH-käsitteilyssä ($p < 0,05$). Näin ollen säilöntäaineella ja kasvilajilla oli yhdysvaikutusta ($p < 0,001$).

Käyminen oli maitohappovaltaista hernevehnan B1-rehussa maitohappo-etikkahapposuhteen perusteella ($p < 0,05$). Hernevehnässä käyminen oli maitohappovaltaisempaa kuin härkäpapurehnan B1-rehussa ($p < 0,001$). Maitohappoa syntyi suhteessa etikkahappoon vähemmän MH-käsitteilyssä kuin muissa rehuissa ($p < 0,001$). Maitohappopitoisuus oli etikkahappopitoisuuteen nähden matalampi härkäpapurehnan MH-käsitteilyssä ($p < 0,05$).

Maitohappoa syntyi kokonaishappopitoisuuteen nähden härkäpapurehnan MH-käsitteilyssä vähemmän kuin muissa rehuissa ($p < 0,05$). Kasvilajilla ja säilöntäaineella oli siis yhdysvaikutusta ($p < 0,001$). Myös hernevehnan MH-käsitteilyssä pitoisuus oli muita käsittelyjä pienempi, mutta kuitenkin suurempi kuin härkäpapurehnan MH-käsitteilyn kokonaishappopitoisuus ($p < 0,05$).

Härkäpapurehnan MH-rehussa oli selkeästi enemmän vesiliukoisia hiilihydraatteja eli sokereita kuin muissa käsittelyissä mukaan lukien hernevehnan MH-rehu ($p < 0,05$). Sokereiden määrällä oli näin ollen yhdysvaikutusta säilöntäaineen ja kasvilajin välillä ($p < 0,001$).

Etanolipitoisuus oli koholla erityisesti hernevehnäsäilörehun MH-käsitteilyssä, joten tuloksissa oli säilöntäaineen ja kasvuston välillä yhteisvaikutus etanolipitoisuuden suhteen ($p < 0,001$). Vastaavaa vaikutusta ei havaittu kuitenkaan samalla käsittelyllä härkäpapurehnan säilörehussa vaan siinä oli päinvastoin pienin etanolipitoisuus muihin kokeen käsittelyihin verrattuna ($p < 0,05$). Hernevehnäsäilörehussa oli suurempi etanolipitoisuus kuin härkäpapurehnan säilörehuissa ($p < 0,001$). Kontrollikäsitteilyt ja

biologisilla säilöntäaineilla säilötyt rehut eivät eronneet kummassakaan rehussa toisistaan.

Hernevehnäsäilörehuissa ammoniumtyypeä oli merkitsevästi enemmän kuin härkäpapuvehnäsäilörehuissa ($p < 0,001$). MH-käsittelyissä ammoniumtyypipitoisuudet olivat merkitsevästi pienempiä muihin käsittelyihin nähden ($p < 0,05$). Härkäpapuvehnän MH-käsittelyn korjattu ammoniumtyypipitoisuus oli huomattavasti pienempi kuin muissa käsittelyissä ($p < 0,05$). Hernevehnän MH-rehun korjattu ammoniumtyypipitoisuus oli pienempi kuin hernevehnän PR- ja B2-rehuissa ($p < 0,05$). Herneen korjatun ammoniumtypen pitoisuus oli suurempi kuin härkäpapuvehnärehun ($p < 0,001$).

Syönti-indeksi oli suurempi härkäpapuvehnän MH-käsittelyssä kuin muissa käsittelyissä ($p < 0,05$). Hernevehnän MH-rehun syönti-indeksi oli myös PR-, B1- ja B2-rehuja suurempi, muttei kuitenkaan yhtä suuri kuin härkäpapuvehnän MH-rehun syönti-indeksi ($p < 0,05$). Muurahaishappo säilöntäaineena paransi siis rehun syönti-indeksiä ($p < 0,001$), mutta säilöntäaine vaikutti enemmän härkäpapuvehnän kuin hernevehnän MH-käsittelyn ruokinnalliseen laatuun ($p < 0,001$).

Taulukko 4. Säilönnällinen laatu

	Hernevehnä				Härkäpapuvehänä				SEM	Tilastolliset merkitsevyydet		
	PR	MH	B1	B2	PR	MH	B1	B2		Rehu	Aine	R*A
Kuiva-aine	182 ^{AB}	189 ^A	189 ^A	185 ^B	170 ^B	171 ^B	174 ^B	172 ^B	2,81	< 0,001	0,307	0,734
pH	4,06 ^B	4,20 ^A	4,05 ^B	4,07 ^B	4,01 ^B	4,24 ^A	4,05 ^B	4,02 ^B	0,012	0,135	< 0,001	0,007
Muurahaishappo	-	18,3	-	-	-	18,3	-	-	0,218	-	-	-
Maitohappo	140 ^A	81,4 ^C	135 ^{AB}	133 ^{AB}	130 ^{AB}	17,0 ^D	123 ^B	130 ^{AB}	3,28	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Maito- ja muurahaishappo	140 ^A	99,7 ^C	135 ^{AB}	133 ^{AB}	130 ^{AB}	35,3 ^D	124 ^B	130 ^{AB}	3,3	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Etikkahappo	27,1 ^A	22,0 ^B	22,5 ^B	25,8 ^A	27,4 ^A	8,00 ^C	26,1 ^A	27,5 ^A	0,565	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Propionihappo	0,897 ^C	6,03 ^B	0,793 ^C	0,813 ^C	0,803 ^C	6,82 ^A	0,823 ^C	0,797 ^C	0,099	0,022	< 0,001	0,001
Voihappo	0,787 ^A	0,580 ^B	0,513 ^B	0,543 ^B	0,527 ^B	0,627 ^{AB}	0,597 ^B	0,547 ^B	0,034	0,202	0,016	< 0,001
Isovaleriaanahappo	0,257 ^A	0,000 ^A	0,000 ^A	0,000 ^A	0,000 ^A	0,313 ^A	0,000 ^A	0,000 ^A	0,106	0,853	0,334	0,105
Kapronihappo	0,733 ^A	0,230 ^{AB}	0,000 ^B	0,000 ^B	0,000 ^B	0,000 ^B	0,170 ^{AB}	0,173 ^{AB}	0,118	0,083	0,084	0,004
VFA	29,7 ^A	28,8 ^A	23,9 ^B	27,2 ^A	28,8 ^A	15,8 ^C	27,7 ^A	29,0 ^A	0,606	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Hapot yhteensä	170 ^A	110 ^B	159 ^A	161 ^A	159 ^A	32,8 ^C	151 ^A	159 ^A	3,71	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Maitohappo/etikkahappo	5,17 ^B	3,70 ^C	6,00 ^A	5,16 ^B	4,75 ^B	2,13 ^D	4,73 ^B	4,73 ^B	0,112	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Maitohappo/kokonaishapot	0,825 ^A	0,738 ^B	0,850 ^A	0,831 ^A	0,819 ^A	0,516 ^C	0,817 ^A	0,817 ^A	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Sokerit	10,3 ^B	21,2 ^B	16,9 ^B	9,9 ^B	12,0 ^B	146 ^A	15,2 ^B	14,1 ^B	3,61	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Etanoli	34,7 ^B	68,5 ^A	31,7 ^B	32,6 ^B	21,7 ^C	10,1 ^D	20,6 ^C	17,9 ^C	1,29	< 0,001	< 0,001	< 0,001
NH ₄ -N	92,4 ^A	92,9 ^A	84,7 ^A	94,3 ^A	67,7 ^B	61,2 ^B	69,2 ^B	69,8 ^B	1,99	< 0,001	0,056	0,008
Korjattu NH ₄ -N (g/kg N)	92,4 ^{AB}	84,3 ^B	84,7 ^{AB}	94,3 ^A	67,7 ^C	50,7 ^D	69,2 ^C	69,8 ^C	1,99	< 0,001	< 0,001	0,003
Syönti-indeksi	108 ^C	116 ^B	110 ^C	109 ^C	108 ^C	124 ^A	109 ^C	108 ^C	0,718	0,007	< 0,001	< 0,001

PR=painorehu, MH=muurahaishappopohjainen säilöntäaine, B1= ensimmäinen biologinen säilöntäaine, B2= toinen biologinen säilöntäaine

Rehu= rehujen välinen vaihtelu, Aine= säilöntäaineiden välinen vaihtelu, R*A= rehun ja säilöntäaineen välinen yhteisvaihtelu

A, B, C, D: eri kirjaimilla merkityt keskiarvot eroavat toisistaan merkitsevästi (p<0,05)

NH₄-N= Ammoniumtypen osuus kokonaistypestä

Ammoniumtypen määrästä kokonaistypeessä on korjattu MH-säilöntäaineen sisältämän ammoniumformiaatin pitoisuudet

Isovoihappoa ja valeriaanahappoa ei todettu rehuissa

5.3 Rehujen mikrobiologinenlaatu

5.3.1 Säilörehut

Mikrobiologisen laadun tuloksista ei tehty tilastollisia analyyskejä, koska mikrobiologiset määritykset on tehty laimennossarjoilla. Osa tuloksista on näin ollen jäänyt laimennossarjan vaihteluvälin ulkopuolelle ja arvoksi on merkitty vaihteluvälin alaraja. Mikrobiologisen laadun tulokset on ilmaistu Taulukossa 5 logaritmisina vertailun helpottamiseksi.

Taulukko 5. Säilörehun mikrobiologinen laatu

	Koliformit (log)	Hiivat (log)	Homeet (log)
Hernevehnä			
PR	1	5,11-5,96	<2,00
MH	1	2,00-3,88	<2,00
B1	1	5,34-5,85	<2,00
B2	1	4,86-5,38	<3,00
Härkäpapuvehnä			
PR	1	<4,00	<4,00
MH	1	3,95-4,93	<3,00
B1	1	<4,00	<4,00
B2	1	<4,00	<4,00

PR=painorehu, MH=muurahaishappopohjainen säilöntäaine, B1= heterofermetatiivinen maitohappobakteerivalmiste, B2= heterofermentatiivinen maitohappobakteerivalmiste

Koliformipitoisuudet olivat kaikissa rehuissa alle 10 pmy/g rehua. Rehujen välillä ei näin ollen ollut havaittavissa eroja.

Säilörehujen välillä oli jonkin verran eroja hiivapitoisuuksissa. Yleisesti ottaen hernevehnäsäilörehussa oli enemmän hiivoja kuin härkäpapusäilörehussa. Poikkeuksen siihen tekee kuitenkin hernevehnän MH-rehu, jossa on käsittelyistä pienin hiivapitoisuus. Härkäpapusäilörehussa hiivojen määrä on melko tasainen eri käsittelyjen välillä, mutta toisin kuin hernevehnäsäilörehussa, härkäpapurehun MH-käsittelyssä on hieman muita suurempi hiivojen määrä.

Hernevehnäsäilörehun hiivamäärien välillä oli jonkin verran vaihtelua. Keskihajontojen perusteella voidaan päätellä, että rinnakkaiset erosivat toisistaan kaikkein vähiten

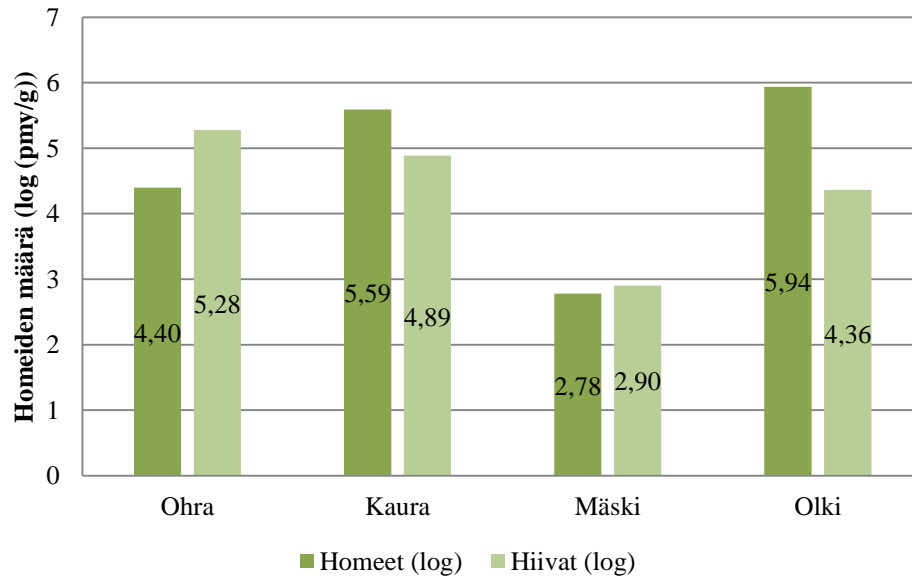
B1- ja B2-käsittelyissä ja suurinta ero rinnakkaisten käsittelyjen välillä oli pienimmän keskimääräisen hiivapitoisuuden MH-käsittelyn rehuissa.

Härkäpapusäilörehussa hiivamäärien erot olivat pienempiä, mutta näitä tuloksia vertailtaessa on huomioitava, että käsittelyjen PR, B1 ja B2 arvot ovat likiarvoja ja niiden hiivojen määräksi on tuloksiin kirjattu $< 10\,000$ pmy/g. Härkäpapuvehnäsäilörehun hiivapitoisuuksista voidaan todeta vain se, että MH-rehuissa hiivoja oli kaikkein eniten.

Säilörehujen homepitoisuudet olivat härkäpapuvehnäsäilörehuissa pääasiassa suurempia kuin hernevehnässä. Näiden tulosten osalta tulokset on ilmaistu vain suuruusluokaltaan, eikä homeen osalta ole tarkkoja tietoja. Tämän takia homeille ei myöskään voida laskea keskihajontaa tai vaihteluväliä, sillä rinnakkaisten siilojen välillä ei ollut eroja suuruusluokissa. Hernevehnäsäilörehun osalta kaikissa muissa rehuissa suuruusluokka on $1,0 \times 10^2$ pmy/g paitsi B2-rehuissa, joissa suuruusluokka oli kymmenkertainen eli $1,0 \times 10^3$ pmy/g. Härkäpapuvehnäsäilörehuissa homeiden määrissä on myös kymmenkertaisia eroja rehujen välillä. Kaikissa muissa käsittelyissä rehujen homeiden määrän suuruus luokka on $1,0 \times 10^4$ pmy/g, mutta MH-käsittelyssä homeiden määrä on kymmenen kertaa pienempi eli $1,0 \times 10^3$ pmy/g.

5.3.2 Seosrehukomponentit

Seosrehukomponenteista tutkittiin myös mikrobimäärät (Kuva 2). Koliformien määrät kaurassa ja ohrassa olivat alle 10 pmy/g, mäskissä 70 pmy/g ja oljessa alle 1500 pmy/g.



Kuva 2. Seosrehukomponenttien homeet ja hiivat.

Seosrehukomponenttien välillä oli eroja. Kaurassa ja ohrassa oli kaikkein eniten hiivoja eli kaurassa $7,7 \times 10^4$ pmy/g ja ohrassa $1,9 \times 10^5$ pmy/g. Oljessa ja mäskissä oli viljan pesäkemääriin nähden vähemmän hiivoja. Oljessa pesäkkeitä muodostavien yksiköiden määrä oli $2,3 \times 10^4$ pmy/g ja mäskissä $8,0 \times 10^2$ pmy/g.

Homeita seosrehukomponenteista eniten sisälsivät olki ja kaura. Oljessa homeiden määrä oli $8,7 \times 10^5$ pmy/g ja kaurassa $3,9 \times 10^5$ pmy/g. Vähiten homeita löytyi ohrasta ja mäskistä, joista ohrassa oli $2,5 \times 10^4$ pmy/g ja $6,0 \times 10^2$ pmy/g. Näiden komponenttien lisäämisellä rehuun pyrittiin tuomaan lisähaasteita aerobiseen stabiiliuteen ja säilörehujen vastaaviin pitoisuuksiin nähden, seosrehukomponenteissa oli aerobista pilaantumista lisääviä mikrobeja enemmän kuin puhtaassa säilörehussa.

5.4 Rehujen aerobinen stabiilisuus

Säilörehujen sekä seosrehujen aerobisessa stabiiliudessa oli merkitseviä eroja säilöntäainekäsittelyjen välillä. Hernevehnäsäilörehussa MH-rehu oli kaikkein stabiilein ja se erosi merkitsevästi muista käsittelyistä ($p < 0,05$). Muut käsittelyt eivät eronneet kontrollikäsittelystä. Härkäpapuvehnäsäilörehussa sen sijaan B2-rehu oli merkitsevästi stabiilimpi painorehuun verrattuna. B1-rehu ei kuitenkaan merkitsevästi eronnut painorehusta kuten ei MH-käsittelykään.

Taulukko 6. Rehujen aerobinen stabiilisuus tunteina.

	Rehujen säilöntäainekäsittelyt				<i>n</i>	SEM*	Merkitsevyys**
	PR	MH	B1	B2			
Säilörehut							
Hernevehnä	56,8 ^B	235,0 ^A	56,8 ^B	65,4 ^B	24	4,76	<0,001
Härkäpapuvehänä	56,2 ^B	59,4 ^B	88,3 ^{AB}	101,2 ^A	24	9,17	0,021
Seosrehut							
Hernevehnäseos ilman olkea	52,9 ^B	107,9 ^A	48,9 ^B	-	18	2,55	<0,001
Hernevehnäseos + olki	45,7 ^B	101,2 ^A	46,1 ^B	55,6 ^B	24	3,27	<0,001
Härkäpapuvehänäseos + olki	49,7	49,7	56,9	62,9	24	3,73	0,099

*Keskiarvon keskivirhe

** Tilastollinen merkitsevyys säilöntäaineen vaikutukselle

A, B= Tukeyn testissä merkitsevä ero käsittelyjen välillä ($p < 0,05$), PR=painorehu, MH= muurahais-happo, B1= heterofermentatiivinen bakteeri, B2= heterofermentatiivinen bakteeri, *n*= havaintojen määrä

Hernevehnäsäilörehuseos MH-rehusta ilman olkea oli myös stabiilimpi B1- ja PR-käsittelyyn verrattuna ($p < 0,05$). B1-käsittely ei eronnut merkitsevästi kontrollikäsitelystä. Hernevehnäsäilörehusta tehty olkea sisältävä seosrehu oli myös MH-käsittelyissä stabiilein ja stabiilisuudessa oli merkitsevä ero muihin käsittelyihin nähden ($p < 0,05$). Oljettomia seosrehuja ei tehty härkäpapuvehnänsäilörehusta eikä hernevehnän B2-käsittelystä mittauspaikkojen rajallisen määrän vuoksi.

6. Tulosten tarkastelu

7.1. Raaka-aine

7.1.1 Raaka-aineen kemiallinen koostumus

Koerehujen kuiva-ainesadot olivat yhden korjuun sadoiksi melko suuret. Hernevehnän kuiva-ainesato (6839 kg ka/ha) oli hieman suurempi kuin härkäpavuvehnällä (6783 kg ka/ha). Kokoviljasäilörehuiksi korjattuna palkoviljojen sadot vaihtelevat korjuupaikasta ja kasvuasteesta riippuen herneellä 5 593 - 8600 g/kg ka ja härkäpavulla 2 850 – 10 270 g/kg ka (Fraser ym. 2001, Ghanbari-Bonjar ja Lee 2003, Manninen ym. 2006, Borreani ym. 2009). Kokoviljasäilörehujen yhtenä tarkoituksena on tuottaa suuri sato yhdellä korjuulla. Tämä on siis korjuukertoihin suhteutettuna tehokas tapa tuottaa rehumassaa.

Kasvustojen hyvät kuiva-ainesadot johtuivat todennäköisesti palkokasvien suuresta pituudesta. Herneiden keskimääräinen pituus (208 cm) oli suurempi kuin härkäpavun (154 cm). Borreanin ym. (2009) tutkimuksessa härkäpapu (78 cm) oli hieman pidempää kuin herne (76 cm), mutta molemmat kasvustot olivat huomattavasti lyhyempiä kuin tämän kokeen koekasvusto. Kuiva-ainesadot olivat kuitenkin hieman suurempia Borreanin ym. (2009) tutkimuksessa kuin tässä tutkimuksessa, joten kasvusto on todennäköisesti ollut tiheämpää tai rehevämpää. Myös päivän pituudella saattaa olla vaikutusta.

Raaka-aineet olivat korjuuhetkellä hyvin märkiä. Tähän vaikuttaa todennäköisesti suuri palkokasvien osuus sekä hernevehnässä (0,892) että härkäpavuvehnässä (0,837). Tämän takia näitä rehuja voidaankin paremmin verrata puhtaisiin palkoviljaseoksiin. Rehuja ei myöskään esikuivattu, kuten joissain saman tyyppisissä tutkimuksissa, jolloin rehut jäivät märemmiksi. Vastaavia kuiva-ainepitoisuuksia onkin puhtaista kasvustoista saaneet myös muun muassa Pursiainen ja Tuori (2008), Borreani ym. (2009) sekä Rondahl ym. (2011).

Kuoppalan ym. (2014a) tutkimuksessa herneessä oli enemmän vartta ja vähemmän palkoja ja lehteä kuin härkäpavussa. Kasvinosien suhteiden ja koostumuserojen seurauksena syntyy suurin osa raaka-aineen koostumuseroista.

Tämän kokeen rehut sisälsivät hieman vähemmän muuntokelpoista energiaa kuin Rehutaulukoiden mukaan ensimmäisen sadon normaaliaikaisen korjuun nurmisäilörehu (10 MJ/kg ka) (Luke 2015). Hernevehnässä oli muuntokelpoista energiaa kuitenkin hieman enemmän kuin härkäpapuvehnässä. Jakobsin ja Wardin (2013) tutkimuksessa eri suhteissa hennettä ja vehnää säilötyissä säilörehuissa pelkkää herneettä sisältänyt kokoviljasäilörehu sisälsi kaikkein eniten muuntokelpoista energiaa (11,0 MJ/kg ka) muihin hernevehnäsuhteisiin nähden. Jo 25 % vehnäsosuus laski rehun energiapitoisuutta (9,1 MJ/kg ka).

Raakavalkuaisen pitoisuus ylitti molemmissa rehuissa lypsylehmien tavoitearvot (130 - 170 g/kg ka). Hernevehnän raakavalkuaispitoisuus (206 g/kg ka) oli suurempi kuin härkäpapuvehnän raakavalkuaispitoisuus (177 g/kg ka). Tämä on erityisesti luonnonmukaisessa tuotannossa tavoiteltavaa valkuaisomavaraisuuden takia. Pursiainen ja Tuori (2008) saivat vastaavia raakavalkuaispitoisuuksia puhtailla herne-, härkäpapu- ja virnakasvustoilla. Adesoganin ja Salawun (2004) tutkimuksessa hernevehnäseoskasvuston raakavalkuaispitoisuudet (171 – 193 g/kg ka) olivat tämän tutkimuksen hernevehnäseoskasvuston tasoa pienempiä, mutta puhtaassa hernekasvustossa raakavalkuaistasot (198 – 220 g/kg ka) olivat jopa suuremmat valmiissa säilörehussa. Toisaalta Rondahlin ym. (2011) tutkimuksessa todettiin kasvuasteesta ja käsittelystä riippuen tavoitetasoa suurempia valkuaispitoisuuksia (189 – 256 g/kg ka). Valkuaispitoisuuksien perusteella näiden rehujen pitäisi korvata hyvin väkirehujen valkuaista myös luonnonmukaisessa tuotannossa, vaikka lopullisen tuotantovaihtuksen lopulta ratkaisee valkuaisen laatu.

Hernevehnän OIV-pitoisuudet olivat suuremmat kuin härkäpapuvehnän. Rehujen OIV-pitoisuudet olivat tavanomaiseen ensimmäisen sadon nurmisäilörehuun nähden (80 g/kg ka) hernevehnässä jonkin verran suurempia ja härkäpapuvehnässä melko samalla tasolla (Luke 2015). Pötsin valkuaisarvoissa (PVT) oli havaittavissa samanlainen ero kasvustojen välillä eli herneen PVT-arvo oli härkäpapuvehnää suurempi ja molemmissa säilörehuissa se ylitti keskimääräisen sulavuuden ensimmäisen sadon nurmiheinäsäilörehun PVT-arvon (26 g/kg ka). Valkuaisarvojen osalta on kuitenkin huomattava, että rehun tyyppien hyväksikäyttö riippuu kuitenkin ruokinnasta kokonaisuutena ja erityisesti fermentoituvien hiilihydraattien määrästä rehussa.

Tuhkapitoisuuksien välillä oli eroja kasvustojen välillä. Useimmissa tutkimuksissa, joissa hennettä ja härkäpapua on verrattu toisiinsa, härkäpavun tuhkapitoisuus on ollut ainakin numeerisesti suurempi kuin herneen (Mustafa ja Seguin 2003, Pursiainen ja Tuori 2008, Borreani ym. 2009). Tässä tutkimuksessa hernevehnäkasvuston tuhkapitoisuus oli kuitenkin suurempi kuin härkäpavuvehnän. Yhtenä selityksenä tähän eroon saattaa olla se, että hernevehnäkasvusto oli pahoin lakoontunut korjuuhetkellä ja näin ollen raaka-aineen joukkoon saattoi joutua maa-ainesta korjuun yhteydessä.

Vesiliukoisia hiilihydraatteja eli sokereita oli hernevehnäkasvustossa (176 g/kg ka) enemmän kuin härkäpavuvehnäkasvustossa (156 g/kg ka). Myös Pursiaisen ja Tuorin (2008) säilöntäkokeessa härkäpavun (93 g/kg ka) sokeripitoisuus oli pienempi kuin herneen (157 g/kg ka), mutta pitoisuudet ovat tämän kokeen tasoa huomattavasti pienempiä. Myös muissa kokeissa sokeripitoisuudet vastaavissa kasvustoissa ovat olleet pienempiä (Fraser ym. 2001, Salawu ym. 2001a, Rondahl ym. 2007). Kokeen sokeripitoisuus olikin hyvin suuri, sillä Huhtasen ym. (2005) mukaan Suomessa yleisesti käytettävän timoteinurminatanurmen keskimääräinen vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuus oli ensimmäisessä sadossa 112 g/kg ka ja jälkikasvussa 99 g/kg ka.

Tärkkelyksen määrä oli suurempi härkäpavuvehnäkasvustossa (93,9 g/kg ka) kuin hernevehnäkasvustossa (76,1 g/kg ka). Tämä saattaa osittain johtua härkäpavuvehnäkasvuston suuremmasta vehnän osuudesta. Vehnän osuus kasvustossa oli hyvin pieni, joten erot pitoisuuksissa eivät todennäköisesti selittyneet kokonaan vehnän määrällä. Pursiaisen ja Tuorin (2008) kokeessa härkäpavussa (185 g/kg ka) oli vähemmän tärkkelystä kuin hernesäilörehussa (255 g/kg ka) eli pitoisuudet olivat huomattavasti tämän kokeen tärkkelyspitoisuuksia suurempia. Toisaalta Mustafan ja Seguinin (2003) tutkimuksessa herneen (73 g/kg ka) ja härkäpavun (29 g/kg ka) tärkkelyspitoisuudet olivat huomattavasti pienempiä säilörehun raaka-aineessa kuin tässä tutkimuksessa. Tämä näin suuri ero johtuu todennäköisesti kasvustojen kasvuasteiden erosta, sillä mitä vanhempi kasvi on, sitä suurempi sen palkojen osuus kasvumassasta on (Kuoppala ym. 2014). Kuoppalan ym. (2014b) tutkimuksesta käy ilmi, että suurin osa herneen ja härkäpavun sisältämästä tärkkelyksestä oli paloissa. Samanlaisia tuloksia on saatu myös muissa aiemmissä tutkimuksissa verrattaessa eri kasvuasteiden koostumusta (Fraser ym. 2001, Ghanbari-Bonjar ja Lee 2003)

Neuraalidetergenttikuidun määrissä oli kasvien välillä melko suuri ero, sillä härkäpapuvehnässä NDF-pitoisuus (476 g/kg ka) on suurempi kuin hernevehnässä (392 g/kg ka). Adesoganin ja Salawun (2004) säilöntäkokeessa toisessa puhtaassa hernesäilörehussa havaittiin kuitenkin miltei yhtä suuria NDF-pitoisuuksia kuin härkäpapuvehnäkasvustoissa. Toisella lajikkeella NDF-pitoisuudet olivat lähempänä tämän tutkimuksen hernevehnäkasvuston pitoisuuksia. Näin ollen NDF-pitoisuudet saattavat vaihdella lajikkeen ja kehitysvaiheen perusteella. Pursiaisen ja Tuorin (2008) säilöntäkokeen raaka-aineiden NDF-pitoisuudet olivat pienempiä sekä herne- (361 g/kg ka) että härkäpapusäilörehuilla (337 g/kg ka) hernevehnä- ja härkäpapuvehnäseossäilörehuihin verrattuna. NDF-kuitupitoisuus näin ollen lisääntyi, kun vehnän osuus suureni säilörehussa. Kasvuasteella ei sen sijaan ainakaan ole havaittu herneen ja härkäpavun vanhetessa olevan vaikutusta rehun NDF-pitoisuuteen (Fraser ym. 2001, Kuoppala ym. 2014b).

Rehuraaka-aineena hernevehnän koostumus oli ruokinnallisesti parempaa suuremman sulavuuden ja valkuaispitoisuuden sekä pienemmän kuitupitoisuuden takia kuin härkäpapuvehnäraaka-aine. Tähän vaikuttaa osittain herneen suurempi osuus kasvustossa. Suurin osa tärkkelyksestä on todennäköisesti härkäpavun siemenistä. Hernevehnäsäilörehun D-arvo (680 g/kg ka) oli nurmisäilörehun tavoitearvojen (680-700 g/kg ka) alarajoilla ja härkäpapuvehnäsäilörehulla (632 g/kg ka) selkeästi nurmisäilörehujen tavoitealueen ulkopuolella (Artturi 2014). Adesoganin ja Salawun (2004) säilöntäkokeessa hernesäilörehujen D-arvot (558 – 609 g/kg ka) olivat pienempiä kuin tässä tutkimuksessa. Toisaalta Kuoppala ym. (2014b) totesivat tutkimuksessaan, että nykyisillä laskukaavoilla ei todennäköisesti osata arvioida seoskasvuston D-arvoja, joten näitä arvoja ei voida siis pitää täysin vertailukelpoisina nurmisäilörehuun nähden. Aiemmissä tutkimuksissa *in vitro* -sulavuudet ovat olleet samaa tasoa puhtailla kasvustoilla (Pursiainen ja Tuori 2008).

Raaka-aineiden koostumuksen perusteella hernevehnä oli kasvustoltaan huomattavasti nuorempaa, sillä se sisälsi enemmän solunsisällyshiilihydraatteja ja raakavalkuaisista ja vähemmän tärkkelystä kuin härkäpapuvehnä. Kasvustoissa ollut vehnä oli samaa lajiketta molemmissa ja sitä oli kummassakin seoskasvustossa hyvin pieni osuus, joten kyseiset koostumuserot johtuivat todennäköisesti palkoviljojen eriaikaisesta kehittymisestä. Anniina-vehnä on aikainen vehnälajike (Tilasiemen Oy 2015). Fuego- härkäpapu on sadontuottokyvyltään hyvä ja sen valkuaisen tuottokyky on

suuri (Saaten Union 2015b). Kasvuajaltaan kyseinen lajike on keskimääräinen ja hyvin tukevavartinen eli ei lakoonnu helposti (Saaten Union 2015b). Florida-herne on puolestaan reuherne, jonka todetaan lajikekuvauksessa soveltuvan hyvin viherrannoitukseen tai säilörehuksi (Saaten Union 2015a). Se on aikaisin kukkiva ja tuottaa melko paljon biomassaa. Varreltaan se on keskipitkä ja kohtuullisen lakoontuva (Saaten Union 2015a).

7.1.2 Säilöttävyys

Hernevehnäraaka-aineessa puskurikapasiteetti (431 mekv/kg ka) oli suurempi kuin härkäpapuvehnässä (402 mekv/kg ka). Puskurikapasiteettiarvojen välinen ero ei ollut käytännön kannalta kovin merkittävä, sillä puskurikapasiteetit olivat melko pieniä ja ero kasvilajien välillä oli suhteellisen pieni. Vehnän määrä ja kasvilajien erot saattaa osittain selittää tämän eron. Fraser ym. (2001) aineistossa puskurikapasiteetit olivat tämän tutkimuksen tuloksia huomattavasti pienempiä erityisesti herneessä. Toisaalta Rondahlin ym. (2011) aineiston perusteella puskurikapasiteetissa näyttäisi olevan lajikekohtaisia eroja, sillä tutkimuksen toisella hernelajikkeella puskurikapasiteetti oli tämän tutkimuksen tuloksia suurempi. Pursiaisen ja Tuorin (2008) aineistoissa puskurikapasiteetit ovat puolestaan huomattavasti suuremmat kuin tämän kokeen aineistossa. Tämän kokeen seoskasvustojen puskurikapasiteetit olivatkin hyvin pieniä, sillä Seppälä ym. (2014) totesivat, että tavallisen timoteinurminataseoksen puskurikapasiteetti vaihtelee välillä 340–483 mekv/kg ka.

Sokerien pitoisuus tuorepainoa kohden oli tässä kokeessa hieman suurempi hernevehnäkasvustossa (32 g/kg) kuin härkäpapuvehnäkasvustossa (27 g/kg). Rehu luokitellaan kohtalaisen hankalaksi säilöttäväksi, kun raaka-aine sisältää 1,5 – 3,0 % ja helposti säilöttäväksi, kun vesiliukoisia hiilihydraatteja on yli 3,0 % (EFSA 2006). Luokituksen mukaan hernevehnäraaka-aine on helposti säilöttävää ja härkäpapuvehna puolestaan on kohtalaisen vaikeasti säilöttävää.

Säilöttävyyskerroin oli myös hieman suurempi hernevehnällä (54,3 kg mekv/ka) kuin härkäpapuvehnällä (51,7 kg mekv/ka). Nämä säilöttävyyskertoimet ovat hyvin korkeita lähes puhtaiksi palkokasvisäilörehuiksi, sillä palkokasvien säilöntäkertoimet ovat ilman esikuivatusta säilötyillä palkokasveilla (ka 200 g/kg) 24 – 27 kg mekv/ka.

Tämän kokeen säilöttävyyuskertoimet vastaavat enemmänkin nurmikasvien säilöntäkertoimia (45 – 52 kg mekv/ka, ka 250 g/kg)(Pahlow ym. 2001). Säilöttävyyserktoimen perusteella voidaan siis näin ollen sanoa, että yleisestä käsityksestä poiketen molemmat kasvustot olivat melko helposti säilöittäviä.

Yleisen käsityksen mukaan palkokasvit ovat haasteellisia säilöittäviä suuren puskurikapasiteetin ja pienen sokeripitoisuuden sekä märkyiden vuoksi. Kaikkien säilöittävyttä ennustavien parametrien perusteella tämän kokeen kasvustot olivat helposti säilöittäviä, vaikka ne sisälsivätkin melkein puhtaasti palkoviljoja. Näin ollen rehun pH:n laskuun tarvitaan kummassakin rehussa suunnilleen yhtä paljon happoa kuin kuiva-ainepitoisuudeltaan vastaavan nurmisäilörehun säilömiseen. Myös rehun vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuus oli melko suuri, joten myös biologisilla säilöntäaineilla säilönnässä ei pitäisi olla suuria haasteita. Eniten säilöntään haasteita tuo rehun märkyys, jonka johdosta rehu on altis virhekäymiselle. Pahlowin ym. (2003) yhteenvedon mukaan erityisesti maitohappobakteerivalmisteita käytettäessä kuivaainepitoisuuden tulisi olla yli 300 g/kg.

7.1.3 Mikrobiologinen laatu

Enterobakteerit kuuluvat useimmilla kasveilla tavalliseen mikrobistoon (Driehuis 2013). Ne ovat anaerobeja mikrobeja, mutta pystyvät toimimaan myös hapellisissa olosuhteissa. Säilönnän aikana pH:n lasku lopettaa niiden toiminnan melko nopeasti (McDonald ym. 1991, Driehuis 2013). Enterobakteerien määrät olivat hernevehnässä ($8,1 \times 10^6$ pmy/g) suuremmat kuin härkäpapuvehnässä ($3,8 \times 10^6$ pmy/g). McDonaldin ym. (1991) mukaan tutkimuksissa nurmisäilörehuista on löydetty enterobakteereja hyvin pienistä määristä yli 10^5 pmy/g asti tuoreessa kasvustossa. Raaka-ainenäytteiden pitoisuudet ylittivät molempien kasvustojen osalta nämä lukemat. Enterobakteerit kilpailevat säilönnän alussa maitohappobakteerien kanssa substraateista ja voivat näin hidastaa rehun pH:n laskua (Pahlow ym. 2003). Ne voivat myös edesauttaa rehun aerobisen pilaantumisen alkamista nostamalla rehun pH:ta, mikäli happea on saatavissa (McDonald ym. 1991). Ne myös hajottavat rehussa nitraattia, joka puolestaan hajoo edelleen nitriittiksi ja typpioksidiksi, jotka inhiboivat klostridien kasvua (Pahlow ym. 2003). Enterobakteerit voivat säilönnän alussa tuottaa

energiametaboliassa myös erilaisia orgaanisia happoja kuten etikka- ja muurahais-happoa sekä alkoholeja, mutta myös hajottamaan valkuaista metaboliassaan. Enterobakteerien voimakkaalla kasvulla säilönnän alkuvaiheessa saattaa olla näin ollen haitallisia vaikutuksia käymislaadun ja ruokinnallisen laadun osalta (McDonald ym. 1991, Pahlow ym. 2003).

Koliformit kuuluvat enterobakteereihin ja niillä tarkoitetaan yleensä säilörehusta löytyviä ihmisten ja eläinten suolistossa yleisiä enterobakteereja kuten *Escherichia coli* (Pahlow 2003). Koliformeja oli enterobakteerien tapaan myös enemmän hernevehnäkasvustossa ($6,3 \times 10^6$ pmy/g) kuin härkäpapuveh্নäkasvustossa ($3,9 \times 10^6$ pmy/g). Koliformien perusteella voidaan arvioida, onko rehuun ennen korjuuta tai korjuun aikana sekoittunut maa-ainesta ja sitä kautta myös mahdollisesti karjan lantaa (Driehuis 2013). Rehuhygienian kannalta *E. coli* on kaikkein tärkeä, sillä sen jotkin muodot ovat patogeenisiä sekä ihmiselle että eläimille. Koliformit eivät muiden enterobakteerien tavoin selviä happamissa olosuhteissa, joten säilönnän onnitussa nämä bakteerit eivät ole riski (Driehuis 2013).

Hernevehnäraaka-aineessa ($1,0 \times 10^6$ pmy/g rehua) oli vähemmän kasviperäisiä maitohappobakteereja kuin härkäpapuveh্নäraaka-aineessa ($9,3 \times 10^6$ pmy/g rehua). Suurempi luontaisten maitohappobakteerien määrä saattaa parantaa kontrollirehujen säilyvyyttä ja estää voihappoitöiden muodostumista. Luontaisten maitohappobakteerien määrät rehussa olivat melko suuria, sillä Weissbachin ja Honigin (1996) mukaan maitohappobakteerien pitoisuuden ollessa 10^5 pmy/g tai pienempi tai säilöttävyyskertoimen ollessa suurempi voihappokäymisen riski kasvaa. Tämän kokeen rehuksavustoilla oli hyvät lähtökohdat säilöntään luontaisten maitohappobakteerien osalta, koska säilöttävyyskerroin oli melko suuri ja maitohappobakteereja paljon. Useissa muissa tutkimuksissa luontaisten maitohappobakteerien määrä on jäänyt huomattavasti pienemmäksi (Lin ym. 1992, Pursiainen ja Tuori 2008, Kasmaei ym. 2013). Kasvuston maitohappobakteerien pitoisuus oli vain hieman pienempi kuin B1-säilöntäaineen mikrobiannostus.

Suuri luontaisten maitohappobakteerien pitoisuus rehuraaka-aineessa saattoi olla seurausta kasvukauden poikkeuksellisesta lämpimyydestä. Maitohappobakteereiden on todettu kasvavan 5-50 °C:ssa, mutta kaikkein tehokkaimmin 25-40 °C:ssa. Lötjönen ym. (2014) totesivat tutkimuksissaan, että kesät 2013 ja 2014 olivat aiempia ke-

siä hieman kuivempia, mutta selvästi lämpimämpiä. Näistä kahdesta vuodesta 2013 oli lämpimämpi.

Raaka-aineen hiivapitoisuudet ylittivät 10^5 pmy/g tuoreesta, joka on todettu olevan raaka-aineen riskiraja heikentyneelle aerobiselle stabiiliudelle (Wilkinson ja Davies 2013). Toisaalta Pursiaisen ja Tuorin (2008) tutkimuksessa kaikissa kasvustoissa oli suuremmat hiivapitoisuudet kuin tässä tutkimuksessa. Eläviä hiivoja saattoi siis olla jo aerobisten olosuhteiden alussa niin suuri määrä, että pilaantuminen alkaa olosuhteista riippuen melko nopeasti. Hiivojen suuri määrä lisäsi todennäköisyyttä homeiden kasvuille. Homeiden kasvu on vähäistä pienessä pH:ssa ja anaerobisissa olosuhteissa (McDonald ym. 1991), joten jos rehun pH on suuri tai se nousee virhekäymisen johdosta siilon avaamisen jälkeen, myös homeiden kasvu on todennäköistä. Tutkimuksen homeiden määrät olivat pienempiä kuin Pursiaisen ja Tuorin (2008) aineistossa, mutta ovat silti melko suuria.

7.2 Säilörehun käymislaatu

Raaka-aineiden pieni kuiva-ainepitoisuus oli riski rehujen käymislaadulle ja mikrobiologiselle laadulle. Kuiva-aineen eroon vaikuttaa todennäköisesti rehujen korjuu-aika, sillä härkäpapu korjattiin aamupäivällä eikä siitä ehtinyt haihtua yhtä paljon kosteutta kuin hernevehnästä. Rehuja ei myöskään esikuivatettu ennen korjuuta varisemistappioiden välttämiseksi. Puristenestettä ei laskettu pois säilönnän aikana, joten säilöntäolosuhteiden ei voida olettaa täysin vastanneen tilatason säilöntäolosuhteita. Tästä osoituksena on Huuskonen ym. (2014) tekemä sonnien ruokintakoe, jossa samasta kasvustoista tehtyjen kokoviljasäilörehujen kuiva-ainepitoisuus oli huomattavasti suurempi (269–295 g/kg).

Käymishappojen perusteella hernevehnäsäilörehu oli hieman voimakkaammin käynnystä verrattuna härkäpapuvehnäsäilörehuun. Suuremman käymishappopitoisuuden seurauksena myös tämän kokeen hernevehnäsäilörehuissa jäännössokeripitoisuudet olivat pienemmät kuin härkäpapuvehnäsäilörehuissa. Hernevehnän käyminen oli kuitenkin maitohappovoittoisempaa sekä etikkahappopitoisuuteen että kokonaishappopitoisuuteen nähden kuin härkäpapuvehnän. Voimakkaampaa käymistä ei siis tässä

tapauksessa voida luokitella virhekäymiseksi, sillä käymisessä on syntynyt myös paljon maitohappoa, jota tarvitaan rehun pH:n laskuun.

Hernevehnässä etanolipitoisuus oli myös suurempi kuin härkäpapuvehnässä. Tämä kertoo hernevehnässä tapahtuneesta suuremmasta mikrobitoiminnasta (McDonald ym. 1991, Pursiainen ja Tuori 2008). Suurempi etanolipitoisuus saattaa johtua esimerkiksi hitaammasta pH:n laskusta säilönnän aikana, jolloin myös pH:n laskulle herkkien mikrobien toiminta on pidempään mahdollista.

Käsittelyissä ei ollut merkittäviä määriä voihippaa, vaikka erityisesti MH-käsittelyissä pH:t olivat suuria kuiva-ainepitoisuuteen nähden. Suomalaisten suositusten mukaan hyvän laadun raja voihippopitoisuuden suhteen on 1,0 g/kg tuoreessa rehussa eli esimerkiksi hernevehnä painorehun kuiva-ainepitoisuudella voihippaa pitää olla alle 5,49 g/kg ka (KTTK 1998). Suomalaisen luokituksen perusteella kaikki tämän kokeen säilörehut ovat selkeästi hyvän laadun rajoissa voihippopitoisuuden osalta. Richardtin ym. (2012) suositusten mukaan tämän kokeen rehujen voihippopitoisuudet ylittivät joiltain osin hyvän laadun rajan, joten se aiheuttaa rehujen syöttörajoituksia eri eläinryhmien suhteen. Rajoituksia rehun syötössä ei ole, jos voihippopitoisuuden pitoisuus on alle 0,3 g/kg ka. Tämän kokeen rehujen voihippopitoisuudet sijoittuvat kuitenkin Rickardtin (2012) mukaisessa jaottelussa seuraavaan luokkaan eli 0,4-1,0 g/kg ka. Tällöin rehua ei suositella syötettäväksi ensikoille tai umpilehmille ja rajoitetusti myös useamman kerran poikineille lehmille (Rickardt 2012). Borreanin ym. (2009) tutkimuksessa näin määristä kokoviljasäilörehuista on löytynyt huomattavan suuria määriä voihippaa, joten riski voihippokäymiselle on olemassa. Enterobakteerien tuottama nitraatti ehkäisee voihippokäymistä (Pahlow ym. 2003).

Hernevehnässä korjatun ammoniumtypen osuus kokonaistypestä oli myös suurempi kuin härkäpapuvehnäsäilörehuissa. Hernevehnärehuissa ammoniumtypen osuus kokonaistypestä ylitti huonon laadun rajan (> 80 g/kg N)(Artturi 2014). Härkäpapuvehnän PR-, B1- ja B2-rehut kuuluivat tyydyttävään laatuun (60-80 g/kg N). Vain härkäpapuvehnän MH-rehun korjattua ammoniumtypen osuus kokonaistypestä kuului hyvään laatuun ammoniumtypen pitoisuuden perusteella. Suuri korjatun ammoniumtypen osuus kokonaistypestä kertoo valkuaisen hajoamisesta, mikä saattaa olla yhteydessä hernevehnän voimakkaampaan käymiseen.

7.2.1 Painorehu

Painorehut olivat molemmissa kasvustoissa hyvin märkiä, kuten raaka-aineen koostumuksen perusteella voidaan olettaa. Märkyys lisäsi rehun säilönnän haasteellisuutta, sillä virhekäymisen riski oli suurempi. Suuri luontaisten maitohappobakteerien määrä on todennäköisesti kuitenkin toiminut säilöntäaineen tavoin, sillä rehun pH oli käymislaadun kannalta hyvällä tasolla. Pursiaisen ja Tuorin (2008) säilöntäkokeessa härkäpavun pH oli suurempi, mutta hernerehussa pH oli jonkin verran pienempi kuin tässä kokeessa. Myös muissa vastaavissa palkoviljojen säilöntäkokeissa pH:t ovat olleet suurempia kuin tässä kokeessa (Adesogan ja Salawu 2004, Borreani ym. 2009). Kasvustojen raaka-aineiden säilöttävyyden perusteella tämän kokeen kasvustot olivat kuitenkin helpommin säilöittäviä kuin useimmissa saman tyyppisissä säilöntäkokeissa.

Kontrollirehujen maitohappomäärät olivat numeerisesti kaikkein suurimpia kummankin kasvilajin rehuissa. Suuri maitohapon tuotanto näkyy myös pienenä sokeripitoisuutena, joka oli painorehuissa säilyvyyden kannalta jo arveluttavan pieni (Moisio ja Heikonen 1992). Sokeripitoisuudet ovat olleet melko pieniä painorehuissa myös muissa tutkimuksissa (Fraser ym. 2001, Salawu ym. 2001a, Adesogan ja Salawu 2004). Tämän tutkimuksen kasvustot kuitenkin poikkesivat muista samankaltaisista tutkimuksista poikkeuksellisen suuren säilörehuraaka-aineiden sokeripitoisuuden vuoksi. Tarjolla oleva suuri helppoliukoisten sokerien määrät ovat kiihdyttäneet kokeen painorehujen mikrobitoimintaa.

Molemmissa painorehuissa oli myös melko suuria määriä etikkahappoa, mikä heikensi painorehujen käymislaatuja. Suuri etikkahappopitoisuus voi olla myös merkki virhekäymisestä, sillä etikkahappoa tuottavat heterofermentatiivisten maitohappobakteerien ohella myös entrobakteerit ja klostridit (McDonald ym. 1991, Driehuis 2013). Osa näistä mikrobeista tuottaa etikkahappoa maitohaposta (McDonald ym. 1991). Maitohapon hapettaminen etikkahapoksi nostaa rehun pH:ta, koska etikkahappo on heikompi happo kuin maitohappo (McDonald ym. 1991). Tämä saattaa puolestaan lisätä virhekäymistä. Osa etikkahappoa aineenvaihdunnassaan tuottavista mikrobeista hajottaa myös valkuaista (Driehuis 2013). Monissa samantyyppisissä tutkimuksissa etikkahappopitoisuudet ovat olleet pienempiä kuin tässä tutkimuksessa

(Fraser ym. 2001, Pursiainen ja Tuori 2008, Borreani ym. 2009). Muita haihtuvia rasvahappoja oli vain melko pieniä määriä.

Maitohapon osuus etikkahaposta ja kaikista käymishapoista oli molemmissa painorehuissa melko suuri, mikä osoittaa, että rehuissa tapahtunut käyminen on pitkälti ollut toivottua maitohappokäymistä. Maitohapon suuri suhteellinen määrä muihin happoihin ja erityisesti etikkahappoon nähden osoittaa, että rehuraaka-aineen epifyytiset maitohappobakteerit ovat toimineet rehussa säilöntäaineen tavoin. Pursiaisen ja Tuorin (2008) säilöntäkokeessa painorehun käyminen oli myös erityisesti härkäpapupainorehussa hyvin maitohappovaltaista (6,0), mutta melko maitohappopainotteista myös hernesäilörehun painorehussa (5,1). Muissa aiemmissä tutkimuksissa maitohappo: etikkahappo-suhde on ollut joko samaa luokkaa tai hieman pienempi (Salawu ja Adesogan 2002, Jacobs ja Ward 2013)

Ammoniumtyypen osuus kokonaistypestä säilörehussa kertoo säilönnän aikana tapahtuneesta valkuaisen hajoamisen määrästä. Painorehuissa ammoniumtyypipitoisuudet ylittivät hernevehnärehuissa hyvän käymislaadun rajan (alle 80 g/kg N)(Artturi 2014). Härkäpapuvehnärehuissa ammoniumtyypen määrä oli raja-arvon alapuolella. Palkokasvien suuren raakavalkuaispitoisuuden ja yleensä hankalan säilöttävyyden takia oletettavaa on, että valkuaisen hajotusta tapahtuu hieman normaalia enemmän. Tämän kokeen kasvustot eivät kuitenkaan olleet hankalasti säilöittäviä, joten painorehujen osalta voidaan epäillä luontaisten maitohappobakteerien rehun märkyyteen nähden tehotonta maitohapon tuotantoa ja siitä johtuvaa pH:n hidasta laskua. Valkuaista on ehkä siis ehtinyt hajota voimakkaasti ennen kuin pH on laskenut riittävästi hajotuksen lopettamiseksi. Muissa samantyyppisissä tutkimuksissa säilöntäaineettomien säilörehujen ammoniumtyypen osuus kokonaistypestä ei ole ollut yhtä suuri kuin tässä kokeessa (Salawu ym. 2002, Pursiainen ja Tuori 2008).

Kontrollirehujen käymislaatu oli tyydyttävä, sillä molemmissa kasvustoissa painorehujen käymishappojen pitoisuus ylittää hyvän laadun rajan (Artturi 2014). Lisäksi ammoniumtyypeä on paljon kokonaistypeen nähden, joten rehussa on tapahtunut säilönnän aikana virhekäymistä. pH oli kuitenkin hyvällä tasolla molemmissa painorehuissa luontaisten maitohappobakteerien toiminnan takia eikä voihappoa ollut suuria pitoisuuksia, joten sen perusteella rehu oli melko hyvää.

Voimakas käyminen vaikuttaa rehun ruokinnalliseen laatuun, sillä käymishappojen suuri pitoisuus pienentää säilörehun syönti-indeksiä (Huhtanen ym. 2008). Painorehujen syönti-indeksit olivat molemmissa rehuissa keskenään samanlaisia. Syönti-indeksin perusteella molemmat painorehut olivat melko maittavia. Standardirehuun verrattuna niiden syönti olisi ollut 0,8 kg ka pienempi. Palkokasvipitoisen ja kokoviljaa sisältävän säilörehun syönnin on todettu olevan nurmisäilörehua parempi (Rinne ym. 2008). Syönti-indeksejä ei voida todennäköisesti pitää täysin luotettavina, sillä ne perustuvat D-arvoon, joka ei Kuoppalan ym. (2014) mukaan vastaa suoraan nurmiheinäsäilörehujen D-arvoja.

7.2.2 Muurahaishappopohjainen säilöntäaine

Muurahaishappopohjaisella säilöntäaineella pH oli kummassakin rehussa muita käsitteilyjä suurempi. Näin suuri pH voi olla riski virhekäymiselle, jollei säilöntä ole saavuttanut stabiilia tilaa. Riski rehun huonolle käymislaadulle on suuri Kaiserin ym. (2004) mukaan palkokasvisäilörehun pH:n ollessa yli 4,2, kun kuiva-aine on 150 g/kg. Happoa on todennäköisesti annosteltu kokeen rehuihin liian vähän. Annostuksen riittämättömyyteen syy saattoi olla rehun sisältämä suuri vesimäärä, joka on laimentanut happoa molemmissa rehuissa. Tässä kokeessa muurahaishappopohjaista valmistetta annosteltiin 5 litraa per rehutonni eli 3,60 litraa puhdasta muurahaishappoa ja tämän lisäksi säilöntäaineessa lisättiin neutraloitua muurahaishappoa ammoniumformaattina. Vanhatalon ja Jaakkolan (2006) selvityksessä todetaan, että apilarehun säilönnässä on yleensä käytetty 5-6,5 litraa per rehutonni happopohjaisia säilöntäaineita. Tällöin rehujen käymislaatu on ollut pääasiassa hyvä. Toisaalta Pursiainen ja Tuori (2008) annostelivat koerehuihinsa hieman vähemmän ja Adesogan ja Salawu (2004) huomattavasti vähemmän muurahaishappoa tuorepaino kiloa kohden, mutta pH:t olivat pienempiä kuin tässä tutkimuksessa. Kuiva-ainepitoisuudet olivat molemmissa tutkimuksissa samaa luokkaa kuin tässä tutkimuksessa.

Maitohappoa oli odotetusti muurahaishapolla säilötyissä rehussa vähiten. Hernevehnässä maitohappopitoisuus oli kuitenkin merkitsevästi suurempi kuin härkäpapuvehnässä. Rehun pH ei siis laskenut tarpeeksi alas maitohappobakteerien toiminnan pysäyttämiseen ainakaan hernevehnässä. Maitohappobakteereja oli hernevehnäkäs-

vustossa vähemmän kuin härkäpapuvehnässä, joten se ei suoraan selitä suurempaa maitohappopitoisuutta. Pursiaisen ja Tuorin (2008) sekä Adesoganin ja Salawun (2002) tutkimuksissa maitohapon pitoisuus muurahaishapolla säilötyissä kokoviljasäilörehuissa olivat tämän tutkimuksen hernevehnä- ja härkäpapuvehnärehujen väliltä. Adesoganin ja Salawun (2004) säilöntäkokeessa hernevehnäkokoviljasäilörehussa puolestaan muurahaishapolla säilötyissä maitohapon pitoisuus oli suurempi kuin tämän kokee hernevehnäsäilörehussa.

Etikkahappopitoisuudet olivat muurahaishapolla säilötyissä rehuissa muita käsittelyjä pienempiä. Muurahaishapon annostus kuitenkin riitti hillitsemään rehussa tapahtunutta käymistä, vaikkei se pH:ta laskenutkaan tavoitetasolle asti. Maitohapon ja etikkahapon suhde oli MH-rehuissa kuitenkin pienempi eli käyminen oli vähemmän maitohappovaltaista kuin muissa käsittelyissä, sillä myös maitohapon muodostuminen oli rajoitetumpaa. Hernevehnän MH-rehussa VFA-pitoisuus oli yhtä suuri painorehussa ja biologisilla säilöntäaineilla tehdyissä rehuissa, mutta maitohappopitoisuus oli kuitenkin pienempi. MH-rehuissa käyminen on siis ollut heikkolaatuisempaa, koska maitohapon sijaan käymisessä on syntynyt muita heikompia käymishappoja.

Härkäpapuvehnäsäilörehun MH-käsittelyssä propionihappopitoisuudet ovat merkittävästi muita käsittelyjä suurempi. MH-rehujen analysoidut propionihappopitoisuudet ovat korkeita muihin käsittelyihin nähden, koska muurahaishappopohjainen säilöntäaine sisälsi propionihappoa aerobisen stabiilisuuden parantamiseksi. Propionihapon pitoisuus on ilmoitettu myös korjattuna säilöntäaineen sisältämän hapon perusteella. Propionihapon pitoisuuden korjauksesta nähdään näin ollen pitoisuus, joka on syntynyt säilönnän aikana. Härkäpapuvehnän MH-rehussa syntyi säilönnän aikana enemmän (1,09 g/kg ka) propionihappoa kuin hernevehnäsäilörehussa (0,556 g/kg ka). Härkäpapuvehnän säilönnän aikana muodostuneen propionihapon määrä on kaikkia muita käsittelyjä suurempi. Muurahaishapon lisääminen vähensi myös Adesogan ja Salawun (2004) säilöntäkokeessa puhtaalla hernekasvustolla propionihapon muodostumista säilönnän aikana.

Muurahaishappopohjaisella säilöntäaineella rehun käyminen oli rajoittuneempaa eikä maitohappoa muodostunut yhtä suuria määriä kuin muissa käsittelyissä. Etanolia syntyi kuitenkin MH-hernevehnäsäilörehussa huomattavasti enemmän verrattuna muihin käsittelyihin, mutta härkäpapuvehnäsäilörehuissa oli etanolia merkittävästi

vähemmän kuin muissa käsittelyissä. Samanlainen ilmiö havaittiin myös Pursiaisen ja Tuorin (2008) kokeessa puhtaassa härkäpapusäilörehussa. Heidän mukaansa etanolipitoisuuden nousu saattaa olla seurausta hiivojen toiminnasta. Myös enterobakteerit ja heterofermentatiiviset bakteerit pystyvät tuottamaan etanolia glukoosista (McDonald ym. 1991). Enterobakteerien määrä raaka-ainenäytteissä oli kohtuullisen suuri, mutta muurahaishapon nopea lisäys on todennäköisesti keskeyttänyt niiden toiminnan melko nopeasti säilönnän aikana. Heterofermentatiiviset maitohappobakteerit puolestaan tuottavat etanolia yhdessä etikkahapon kanssa (McDonald ym. 1991). Hernevehnäsäilörehun MH-käsittelyssä myös etikkahapon pitoisuus on suurempi kuin härkäpapuvehnäsäilörehun samalla käsittelyllä, joten osa etanolista voi olla peräisin myös heterofermentatiivisesta maitohappokäymisestä. Hiivojen kasvu on myös saattanut lisätä etanolipitoisuutta hernevehnäsäilörehussa, sillä ne tuottavat tehokkaammin etanolia kuin aiemmin mainitut mikrobit eikä härkäpapuvehnässä ollut suuria pitoisuuksia etikkahappoa (McDonald ym. 1991).

Rehun etanolipitoisuus ei sinänsä ole haitallista märehittäjille, sillä se hajoaa pötsissä mikrobien toiminnan seurauksena ja loput maksassa eikä etanolia näin ollen kerry vereen (Raun ja Kristensen 2011). Etanolin tuotannossa syntyy kuitenkin hiilidioksidi ja samalla rehun energiaa hajoaa (Daniel ym. 2013). Etanoli saattaa myös heikentää rehun syöntiä kuten myös muut haihtuvat hahtuvat ainesosat. Suuret etanolipitoisuudet saattavat muuttaa pötsin VFA-suhteita ja sitä kautta myös vaikuttaa maidon rasvahappokoostumusta (Raun ja Kristensen 2011, Daniel ym. 2013).

Jäännössokeripitoisuudet olivat molemmissa kasvustoissa MH-rehuissa suurempia kuin muissa käsittelyissä. Hernevehnässä vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuus oli suurempi kuin härkäpapuvehnässä. Myös sokeripitoisuuksien muutoksesta voidaan päätellä, että hernevehnässä on tapahtunut huomattavan paljon käymistä myös MH-käsittelyssä. Vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuus on säilymisen kannalta kulunut hernevehnärehussa tässä käsittelyssä säilymisen kannalta arveluttavan maltalle (Artturi 2014). Aiemmissa tutkimuksissa jäännössokerien määrät happopohjaista säilöntäainetta käytettäessä ovat riippuneet rehun säilönnän onnistumisesta ja säilöntäaineen annostuksesta (Salawu ym. 2001b, Adesogan ja Salawu 2004, Rondahl ym. 2011).

Ammoniumtypen osuutta kokonaistypestä voidaan pitää Kaiserin ym. (2004) mukaan yhtenä parhaimmista tunnusluvuista rehun virheikäymisen suhteen. Heidän mukaansa rehussa ammoniumtypen osuus kokonaistypestä saisi olla hyvässä säilörehussa alle 10 % (100 g/kg kokonais-N). Suomalaisen arviointijärjestelmän mukaan tämä osuus hyvän käymislaadun säilörehussa saisi olla enintään 60 g/kg kokonais-N (Artturi 2014). MH-rehut olivat siis Kaiserin ym. (2004) mukaan käymislaadultaan tässä tapauksessa hyvää laatua, mutta Artturi-analyysipalvelun viitearvojen perusteella tyydyttävää tai jopa huonoa käymislaatua. Rehun hernevehnäsäilörehun MH-käsittely luokitellaan käymislaadultaan heikoksi suomalaisten viitearvojen perusteella, sillä se sisälsi ammoniumtyppeä yli 80 g/kg kokonais-N. Suuria ammoniumtyypipitoisuuksia on palkoviljasäilörehuissa havaittu myös useissa muissa säilöntäaineissa (Salawu ym. 2001b, Adesogan ja Salawu 2002, Adesogan ja Salawu 2004).

Valkuaisen hajoamiseen säilönnän aikana vaikuttavat Slottnerin ja Bertilssonin (2006) mukaan rehun pH, kuiva-ainepitoisuus, lämpötila ja proteolyysiä estävien aineiden pitoisuus. Tämän kokeen rehujen osalta pienet kuiva-ainepitoisuudet ovat suuri riski rehun valkuaisen hajoamisen osalta. Myös rehun pH jääminen suureksi erityisesti MH-rehuissa altistaa valkuaisen liialliseen hajoamiseen säilönnän aikana. Rehussa tapahtuvan valkuaisen hajoaminen on vähäisintä, kun pH on 3 (Slottner ja Bertilsson 2006). Rehun esikuivaamisen yhdistämisen muurahaishappokäsittelyyn on todettu olevan tehokkain keino valkuaisen hajoamiseen estämiseen (Lorenz ja Udén 2011).

Syönti-indeksit olivat muurahaishappopohjaisella säilöntäaineella säilötyissä rehuissa painorehua ja biologisilla säilöntäaineilla säilöttyjä rehuja parempia. Syynä parempaan syönti-indeksiin on rajoittuneempi käyminen, jonka takia rehuissa oli vähemmän käymishappoja (Huhtanen ym. 2007). Käymishappopitoisuuden vaikutus syönti-indeksiin näkyy myös MH-rehujen välillä, sillä voimakkaammin käyneellä hernevehnärehussa MH-rehun syönti-indeksi oli pienempi kuin härkäpapuvehnän MH-rehussa. Rinteen ym. (2008) mukaan yksi säilörehun syönti-indeksipisteen lisäys lisää rehun kuiva-ainesyöntiä 0,1 kg ka. Syönti-indeksien perusteella eläin syön todennäköisesti siis härkäpapuvehnän MH-rehua 0,8 kg kuiva-ainetta enemmän kuin hernevehnän MH-rehua ja 1,6 kg kuiva-ainetta enemmän kuin härkäpapuvehnän painorehua. Huuskonen ym. (2014) havaitsivat samasta rehukasvustosta tehdyssä nauto-

jen kasvatuskokeessa, että härkäpapuvehnäsäilörehun syönti kasvavilla nautoilla oli suurempaan, mutta kasvu oli nopeampaa hernevehnäsäilörehulla.

7.2.3 Biologiset säilöntäaineet

Kokeessa käytettiin kahta heterofermentatiivista maitohappobakteerivalmistetta, joiden käymislaatutuloksissa ei havaittu suurta ero aineiden välillä siitä huolimatta, että säilöntäaineiden mikrobiannostuksissa oli kymmenkertainen ero mikrobiannostuksessa. Suurimmat erot saadaan vertaamalla biologisilla säilöntäaineilla säilöttyjä rehuja muurahaishappopohjaisella säilöntäaineella säilöttyihin rehuihin, sillä biologisilla säilöntäaineilla säilörehut ja painorehut eivät käymislaadultaan eronneet toisistaan. Todennäköisesti raaka-aineen suuri maitohappobakteeripitoisuus tasoitti painorehujen ja biologisten säilöntäaineiden välisiä eroja.

B1- ja B2- säilörehuissa pH:t olivat säilönnän kannalta melko hyvällä tasolla. Tämä osoittaa, että rehuissa on ollut riittävästi vesiliukoisia hiilihydraatteja maitohappokäymiseen. B1- ja B2- rehuissa pH:t olivat samalla tasolla kontrollirehujen kanssa, mutta pienempiä kuin MH-käsittelyissä. Aiemmissä tutkimuksissa vastaavissa kokoviljasäilörehuissa heterofermentatiivisilla maitohappobakteerivalmisteilla on saatu vastaavia tai hieman suurempia pH-arvoja (Salawu ym. 2001b, Adesogan ja Salawu 2002, 2004) B1- ja B2- rehujen suhteellisen matalat pH:t osoittavat, että kasvustojen sokeripitoisuudet olivat riittäviä säilymisen kannalta tarpeeksi pienen pH:n saavuttamiseen.

Maitohappopitoisuuksissa ei ollut biologisten säilöntäaineiden välillä tilastollisesti merkitsevää eroa. B1- ja B2- rehujen maitohappopitoisuudet olivat korkeita viitearvoihin nähden. Pursiaisen ja Tuorin (2008) säilöntäkokeessa maitohappopitoisuudet ovat keskimäärin melko samanlaiset tämän kokeen pitoisuuksien kanssa. Toisaalta Fraserin ym. (2001), Adesoganin ja Salawun (2004) ja Borreanin ym. (2009) tutkimuksissa maitohappopitoisuudet olivat jonkin verran pienempiä kuin tässä tutkimuksessa. Rehuraaka-aineen sokeripitoisuus oli todennäköisesti riittävä. Rehun käymisolosuhteiden vakiintuminen on kuitenkin vaatinut melko paljon maitohappoa, joten säilönnässä on ollut jonkin verran haasteita.

Biologisina säilöntäaineina kokeessa käytetyt maitohappobakteerivalmisteet sisälsivät molemmat heterofermentatiivisia bakteereja. Säilöntäaineiden erona oli, että toinen seoksista sisälsi *L. buchneriä* ja toinen *Propionibacterium acidipropionica*. Näiden kahden bakteerin eroina ovat lopputuotteet ja niiden suhteet sekä olosuhevaahtimukset (Kung Jr ym. 2003). *L. buchneri* tuottaa maitohaposta etikkahappoa, 1,2-propaanidiolia ja etanolia. *L. buchnerin* propionihapon tuotannon määrä riippuu siitä kuinka paljon kasveista luontaisesti löytyvä *Lactobacillus diolivorans* muuttaa 1,2-propaanidiolia propionihapoksi. Propionibakteerit sen sijan tuottavat kolmesta glukosimolekyylistä kaksi propionihappomolekyyliä, yhden etikkahappomolekyylin ja yhden hiilidioksidimolekyylin. Propionibakteereilla pääpaino tuotteissa on siis propionihapossa. Propionibakteerit ovat myös olosuhteiden osalta vaativampia kuin *L. buchneri*, sillä ne menestyvät parhaiten kosteissa olosuhteissa ja pH:n laskiessa hitaasti (Kung Jr ym. 2003). Tutkimuksen säilörehut olivat siis kosteuden kannalta otollisia propionibakteerien kasvulle. Etikkahapon pitoisuudet olivat merkittävästi suuremmat hernevehnällä B2 verrattuna B1. Propionibakteeria sisältävällä mikrobiseoksella säilytyssä etikka- ja propionihappoa oli kaikkein eniten, joten olosuhteet olivat todennäköisesti sopivat propionibakteerille.

Maitohappo: etikkahappo-suhteen perusteella B1- ja B2- rehuissa käyminen oli hyvin maitohappovaltaista. Näin ollen rehujen voimakas käyminen on ollut kuitenkin toivotun suuntaista. Muissa heterofermentatiivisilla bakteerivalmisteilla säilytyssä saman tyyppisissä kasvustoissa säilöntä on ollut huomattavasti vähemmän maitohappovaltaista kuin tässä tutkimuksessa (Salawu ym. 2001b, Adesogan ja Salawu 2004).

Biologisilla säilöntäaineilla sokeripitoisuus valmiissa säilörehuissa oli suositusten perusteella melko pieniä. Hyvin säilyneen biologisilla säilöntäaineilla säilötyn rehun sokeripitoisuus on tavallisesti 20 – 50 g/kg ka (Artturi 2014). Sokerit olivat kuluneet vähiin myös muihin samantyyppisiin tutkimuksiin verrattuna (Fraser ym. 2001, Purssainen ja Tuori 2008). Toisaalta Adesoganin ja Salawun (2004) säilöntäkokeessa hernevehnäseoksissa ja puhtaissa hernekasvustoissa vesiliukoisten hiilihyaattien pitoisuudet jäivät vieläkin pienemmiksi. Todennäköisesti matalalla sokeripitoisuudella ei näissäkään käsittelyissä ollut näissäkään kovin suurta merkitystä, sillä sokerit riittivät käymishappopitoisuuksien ja pH-arvojen perusteella riittävään käymiseen.

Valkuaisen hajoaminen oli ammoniumtyyppipitoisuuden perusteella myös biologisilla säilöntäaineilla säilötyissä rehuissa melko suurta, sillä mikään rehu ei alittanut hyvälle käymislaadulle Artturi-palvelussa asetettua rajaa 60 g/kg kokonais-N arvoa. Syynä rehuvalkuaisen suhteellisen voimakkaaseen hajoamiseen on todennäköisesti ollut B1- ja B2- rehujen voimakas käyminen. Tämä ei ole tavoitteiden mukaista, mikäli rehun tämän tyyppisillä rehuilla tavoitellaan ruokinnallista valkuaislisää. Jos rehu olisi ollut kuivempaa, valkuaisen hajoamista olisi todennäköisesti tapahtunut vähemmän (Lorenz ja Udén 2011).

B2- säilöntäaine sisälsi entsyymejä, joiden tarkoituksena oli parantaa rehun säilyvyyttä hajottamalla varastopolysakkarideja maitohappobakteereille käyttökelpoisemmiksi hiilihydraateiksi (McDonald ym. 1991). B1- ja B2-rehujen välillä eroja oli vain hyvin vähän säilönnällisen laadun suhteen, joten rehujen entsyymillisellä oli hyvin pieni vaikutus tai sitä ei ollut koerehuissa lainkaan. Weinberg ym. (1995) totesivat säilöntäkokeessaan herne- ja vehnäsäilörehuilla, että suurina pitoisuuksina entsyymeillä oli vaikutusta rehun hiilihydraattikoostumukseen. Heidän mukaansa myös entsyymien lisääminen lisäsi aerobisen pilaantumisen riskiä suuremman helppoliukoisten hiilihydraattien pitoisuuden takia. Tämän säilöntäaineen osalta pitoisuudet saattavat kuitenkin olla niin pieniä, ettei vaikutus ole havaittavissa.

Biologisilla säilöntäaineilla säilörehun käymislaatu oli tyydyttävää tasoa suurten käymishappopitoisuuksien johdosta. Rehujen voimakas käyminen puolestaan heikentää rehun syöntiä kuvaavaa syönti-indeksiä. B1- ja B2- rehujen syönti-indeksit olivat tässä kokeessa pienempiä kuin MH- käsittelyissä, mutta samalla tasolla kuin kontrollirehuissa. Toisaalta rehuissa ei juurikaan ollut voihappoa ja pH oli pienempi kuin muurahaishappopohjaisilla säilöntäaineella käsitellyt rehut. Härkäpapuvehnäsäilöhulla myös ammoniumtyyppipitoisuudet pysyivät hyvän laadun rajoissa.

7.3 Säilörehun mikrobiologinen laatu

Kaikissa säilörehuissa oli vähän koliformisia bakteereja (<10 pmy/g). Näin ollen rehussa ei ole säilynyt säilönnän aikana merkittäviä määriä rehun hygieenistä laatua heikentäviä itiöitä muodostamattomia bakteereja kuten *E. colia* (McDonald ym. 1991, Driehuis 2013). Koliformit selviävät heikosti rehun pH:n laskusta ja näin ollen

rehun hyvä säilönnällinen laatu parantaa tältä osin myös rehun mikrobiologista laatua. Koliformiset bakteerit voivat myös osallistua rehun aerobiseen pilaantumiseen sen alussa, siitä huolimatta, että ne ovat anaerobisia mikrobeja (Driehuis 2013).

Hiivoja oli numeerisesti enemmän hernevehnässä härkäpapuvehnään verrattuna. Hernevehnäsäilörehujen hiivapitoisuudet ylittivät hiivojen määrän osalta riskirajan 10^5 pmy/g kaikilla käsittelyillä MH- käsittelyä lukuun ottamatta. Näin suuren hiivapitoisuuden on todettu oleva riski rehun aerobiselle stabiiliudelle (Wilkinson ja Davies 2013). Homeiden ja hiivojen pitoisuudet olivat suurempia molemmissa rehuissa ja kaikissa käsittelyissä kuin Pursiaisen ja Tuorin (2008) säilöntäkokeessa. Härkäpapuvehnän hiivapitoisuudet puolestaan eivät poikenneet toisistaan tai painorehusta, mutta olivat hieman suuremmalla tasolla verrattuna MH-käsittelyyn.

Painorehun hiivapitoisuudet olivat molemmilla kasveilla säilönnän jälkeen kokeen numeerisesti suurimpia. Suurimat hiivapitoisuudet ennustavat muihin koerehuihin nähden heikompaan aerobista stabiiliutta. Hiivojen määrä härkäpapuvehnäpainorehussa ei ollut aerobisen stabiiliuden kannalta arveluttava, kun taas hernevehnäpainorehussa hiivojen määrä ylitti rajan, jota pidetään yleisesti aerobisen stabiilisuuden kannalta riskirajana (Wilkinson ja Davies 2013). Pursiaisen ja Tuorin (2008) hiivapitoisuuksiin nähden tämän kokeen pitoisuudet olivat kuitenkin hyvin suuria.

Hiivojen määrät olivat molemmissa MH-kokoviljasäilörehuissa pienempiä verrattuna saman kasvuston muihin käsittelyihin. Adesogan ja Salawun (2004) säilöntä kokeessa muurahaishappopohjaisella säilöntäaineella säilötyissä hernevehnärehuissa hiivapitoisuudet olivat myös jokin verran muita käsittelyjä pienempiä. Pienemmästä hiivapitoisuudesta huolimatta MH-käsittelyissä erityisesti hernevehnäsäilörehussa oli muita käsittelyjä enemmän etanolia. Erityisesti hernevehnäsäilörehussa hiivojen määrä muihin käsittelyihin verrattuna oli pienempi, mutta etanolia oli kuitenkin tässä rehussa kaikkein eniten. Näin ollen etanolipitoisuuden nousu voi johtua myös muiden etanolia tuottavien mikrobien toiminnasta kuten entrobakteerit, heterofermentatiiviset maitohappobakteerit ja klostridit (Pahlow ym. 2003). Heterofermentatiivisten maitohappobakteerien toiminta on todennäköinen vaihtoehto, sillä raaka-aineissa oli luontaisia maitohappobakteereita ja muita käymishappoja oli myös paljon (McDonald ym. 1991, Kung Jr ym. 2003, Wilkinson ja Davies 2013).

Biologisilla säilöntäaineilla hernevehnässä käsittelyjen hiivapitoisuudet ylittivät suurimmassa osassa kummankin käsittelyn rinnakkaisissa hiivojen riskirajan (10^5 pmy/g) (Wilkinson ja Davies 2013). Tämä saattaa altistaa myös hernevehnäsäilörehun B1- ja B2- käsittelyt aerobiselle pilaantumiselle. Härkäpapuvehnäsäilörehun B1- ja B2- käsittelyissä puolestaan hiivapitoisuudet ovat selkeästi tämän rajan alapuolella. Siilojen avauksen jälkeen hiivojen toiminta saattaa suurista hiivapitoisuuksista huolimatta olla rajoittunutta B1- ja B2- käsittelyjen suuren etikkahappopitoisuuden takia (Wilkinson ja Davies 2013). Adesogan ja Salawun (2004) säilörehuissa hiivoja oli biologisilla säilöntäaineilla säilytyissä hernevehnärehuissa suurin piirtein yhtä paljon kuin tässä kokeessa.

Homeiden määrät painorehuissa eivät eronneet muista käsittelyistä numeerisesti. Homeiden kasvu on kuitenkin riippuvainen aerobisten hiivojen kasvunopeudesta ja niiden aiheuttamasta pH:n noususta (McDonald ym. 1991, Wilkinson ja Davies 2013, Muck 2013). Painorehun homeiden määrät olivat Pursiaisen ja Tuorin (2008) vastaavaan tutkimukseen nähden tässä kokeessa hyvin korkeita. Härkäpapuvehnäsäilörehun MH-käsittelyssä puolestaan homeiden lukumäärä oli hieman alemmalla tasolla muihin rehuihin nähden. Homeiden määrät olivat hernevehnäsäilörehun B2-käsittelyssä hieman suuremmalla tasolla kuin muissa saman rehun käsittelyissä. Adesogan ja Salawu (2004) havaitsivat koerehuissaan jopa suurempia homepitoisuuksia kaikilla käsittelyillä.

Suurin ero tämän tutkimuksen hiiva- ja homepitoisuuksissa Pursiaisen ja Tuorin (2008) tutkimustuloksiin oli, etteivät mikrobimäärät vähentyneet tässä kokeessa lainkaan yhtä voimakkaasti säilönnän aikana. Syitä tälle voivat olla säilöntäolosuhteet tai rehuraaka-aineen koostumus. Säilönnässä selvinneiden pilaajamikrobien määrät lisäävät joka tapauksessa todennäköisyyttä rehun nopealle aerobiselle pilaantumiselle.

7.4 Seosrehukomponenttien mikrobiologinen laatu

Koliformien määrä oli seosrehukomponenteissa melko vähäinen. Näin ollen niiden kautta aiheutuva haaste aerobiselle stabiiliudelle on melko pieni eikä hygieeninen laatu heikkene niiden takia. Hiivapitoisuudet puolestaan olivat melko suuria ohrassa, kaurassa ja oljessa, joten niiden lisääminen säilörehuun saattoi heikentää rehujen

aerobista stabiilisuutta. Hiivojen määrä on merkittävä aerobisen pilaantumisen alkamisen kannalta, sillä ne aloittavat rehun jälkilämpenemisen ja laskevat rehun pH:n sopivalle tasolle muiden mikrobien kuten hiivojen toiminnalle.

Homeiden pitoisuudet olivat suurimpia oljessa ja kaurassa. Myös homepitoisuudella voi olla aerobista pilaantumista kiihdyttävä vaikutus ja homeiden erittämät hometoksiinit saattavat olla haitallisia eläimille (Pahlow ym. 2003). Näiden seosrehukomponenttien lisääminen rehuun lisäsi haastetta rehun aerobiselle stabiiliudelle.

7.5 Säilörehun aerobinen stabiilius

Tämän tutkimuksen rehuista osa oli hyvin alttiita aerobiselle pilaantumiselle, koska rehujen hiivapitoisuudet olivat muutamissa käsittelyissä melko korkeita (Wilkinson ja Davies 2013). Yleisenä tavoitteena maataloolosuhteissa on, että säilörehu säilyy syöttökelpoisena seitsemän päivän ajan. Tämä edellyttää kuitenkin, että rehun teossa on teknisesti onnistuttu eli rehu on riittävän tiivistä, rehuun ei pääse säilönnän aikana happea, lämpötila säilönnän aikana ei kohoa liian suureksi ja säilöntäaine on valittu oikein rehun aerobista stabiiliutta ajatellen (Wilkinson ja Davies 2013). Tässä tutkimuksessa siilot pyrittiin tiivistämään yhtä tiiviiksi, mutta koska osan siiloista havaittiin säilönnän aikana vuotaneen puristenestettä, ei voida olla varmoja onko säilörehuun päässyt happea jo säilönnän aikana. Rehun märkyys helpotti rehun tiivistämistä.

Kaikissa säilörehuissa oli merkittäviä määriä käymishappoja joko säilöntäaineen lisäyksen tai rehun käymisen takia. Lyhytketjuisten rasvahappojen tiedetään parantavan säilörehun aerobista stabiilisuutta niiden antifungaalisten ominaisuuksien takia (McDonald ym. 1991). Siitä huolimatta suurin osa rehuista säilyi hapellisissa olosuhteissa melko huonosti, sillä vain hernevehnän MH-käsittely säilyi tavoitteiden mukaisesti hapellisissa olosuhteissa. Saattaa olla, että rehun pH oli kaikissa rehuissa hieman liian suuri siihen, että käymishapot olisivat riittävän suurena pitoisuutena dissosioitumattomassa muodossa. Tämä on kuitenkin kyseenalaista, sillä hernevehnäsäilörehun MH-käsittelyssä oli PR-, B1- ja B2- käsittelyjä suurempi pH ja vähemmän käymishappoja. Toisaalta saattaa olla, että hernevehnäsäilörehussa on yhdistynyt juuri sopivissa määrin rehun käymisessä tuotetut lyhytketjuiset rasvahapot ja

muurahaishapon antibakteerinen vaikutus, mikä saattaa myös parantaa rehun säilymistä hapellisissa olosuhteissa (McDonald ym. 1991, Kung Jr ym. 2003).

Seosrehujen osalta aerobisen stabiilisuuteen on vaikuttanut rehulle tehty käsittely, sillä seosrehut, joihin ei lisätty olkea olivat stabiilimpia kuin olkea sisältäneet seokset. Mikrobiologisten tulosten perusteella olki sisälsi jonkin verran kaikkia aerobisen stabiiliuden kannalta haitallisia mikrobeja (koliformit, hiivat, homeet), mutta oli ilmeisesti kuitenkin seosrehun aerobista stabiilisuutta tasapainottava komponentti.

Painorehujen aerobiset stabiiliudet olivat heikoimpia sekä molemmissa kokeen rehuissa että testatuissa seosrehuissa. Säilörehut lämpenivät yli 2 °C asteeseen siis vain 2,3 päivässä ja seosrehuilla vastaava aika oli joissain tapauksissa jopa alle 2 vuorokautta. Painorehujen aerobinen stabiilius on näin ollen melko huono. Pursiainen ja Tuori (2008) säilöntäkokeessa hernevehnä kontrollirehut lämpenivät seitsemän vuorokauden aikana hieman enemmän (6,6 °C) kuin muurahaishapolla säilötyt rehut (6,3 °C). Härkäpapuvehnäsäilörehussa puolestaan vastaava seitsemän päivän painorehujen lämpeneminen oli vain 2,5 °C eli se oli aerobisesti stabiilimpaa kuin hernevehnäsäilörehu. Adesogan ja Salawu (2004) saivat hernevehnäsäilörehun kontrollikäsittelylle jonkin verran parempia tuloksia (144- 88 h).

MH-käsittelyn rehut olivat hernevehnäsäilörehussa ja siitä tehdyssä seosrehuissa (ilman olkea) muihin käsittelyihin verrattuna stabiilimpia. Hernevehnäsäilörehun kaikissa käsittelyissä oli runsaasti käymishappoja. Suuri etikkahapon määrä on saattanut vähentää hiivojen kasvua ja tällä tavoin parantaa rehun aerobista stabiilisuutta. Toisaalta härkäpapuvehnäsäilörehussa jäännöskereiden määrä oli suuri rajoittuneen käymisen johdosta ja rehuun oli annosteltu propionihappoa. Se ei kuitenkaan taannut hyvää aerobista stabiilisuutta, sillä härkäpapuvehnäsäilörehu ei eronnut tilastollisesti aerobiselta stabiilisuudeltaan painorehusta. Happokäsitteltyjen rehujen parempi aerobinen stabiilius on todettu useissa aiemmissä tutkimuksissa (Salawu ym. 2001b, Adesogan ja Salawu 2002, Adesogan ja Salawu 2004, Pursiainen ja Tuori 2008). Hernevehnäsäilörehut olivat härkäpapuvehnäsäilörehua stabiilimpia niin puhtaissa säilörehuissa kuin seosrehuissa. Pursiainen ja Tuori (2008) saivat tutkimuksessaan päinvastaisen tuloksen hernevehnää ja härkäpapuvehnää verrattaessa.

Biologisilla säilöntäaineilla ei havaittu hernevehnärehussa merkitsevää vaikutusta rehun aerobisen stabiiliuden parantamiseen painorehuun verrattuna, mutta härkäpa-

puvehnärehuista B2-rehu oli stabiilimpi kuin PR- ja MH-käsittelyt. Kaikki biologisilla säilöntäaineilla säilötyt rehut lämpenivät kuitenkin hyvin nopeasti (56,8-101,2 h eli 2,37- 4,22 vrk). Biologisilla säilöntäaineilla on havaittu aerobista stabiiliutta heikentäviä vaikutuksia useissa aiemmissa tutkimuksissa palkoviljoilla (Adesogan ja Salawu 2002, Adesogan ja Salawu 2004, Pursiainen ja Tuori 2008). Useimmissa säilöntäkokeissa säilöntäaineina on kuitenkin ollut homofermentatiivinen bakteerivalmiste, joten hiivojen ja homeiden kasvua estävien käymishappojen tuotanto ei ole rehussa ollut kovin voimakasta. Reich ja Kung (2010) totesivat tutkimuksissaan, että heterofermentatiivisella bakteerivalmisteilla saavutettiin huomattavan aerobisesti stabiileja maissisäilörehuja (518-570 h).

Tässä kokeessa molemmat biologiset säilöntäaineet sisälsivät heterofermentatiivisia mikrobikantoja, joten oletuksena näiden säilöntäaineiden käytössä oli, että ne parantavat säilörehun aerobista stabiiliutta kontrollirehuun nähden. B1- ja B2- käsittelyissä aerobista stabiiliutta parantavien käymishappojen määrät olivat myös suhteellisen suuria. Käymishappojen vaikutus ilmeni vain härkäpapuvehnan B2-rehussa, joka oli härkäpapurehusta stabiilein, mutta lämpeni huomattavasti nopeammin kuin hernevehnan MH-rehu. Säilöntäaineet erosivat toisistaan aerobista stabiiliutta parantavan bakteerikannan osalta. B1 Säilöntäaine sisälsi *L. buchneriä*, joka tuottaa etikkahappoa maitohaposta. B2-säilöntäaine sisälsi puolestaan propionibakteeria, joka tuottaa pääasiassa propionihappoa, mutta myös muita orgaanisia happoja ja hiilidioksidia. Toisaalta tämän kokeen säilörehuissa pilaajamikrobien määrät olivat hyvin suuria, joten pilaantuminen oli hyvin todennäköistä suurista käymishappojen erityisesti etikkahapon pitoisuuksista huolimatta.

Hernevehnä oli biologisilla säilöntäaineilla hieman stabiilimpi molemmissa käsittelyissä sekä seosrehuissa kuin härkäpapuvehnä. Pursiaisen ja Tuorin (2008) säilöntäkokeessa puolestaan ero kasvilajien välillä oli päinvastainen sillä hernerehu oli epästabiilimpaa kuin härkäpapurehu. Rehujen jäännössokerien pitoisuudella saattaa olla vaikutusta rehun aerobiseen stabiiliuteen, mikäli rehun käyminen on kesken. Tämän kokeen käymishappojen ja pH:n perusteella on kuitenkin syytä olettaa, että rehujen käyminen oli hyvin vakiintunutta eikä pienillä jäännössokeripitoisuuksilla ollut vaikutusta rehujen aerobiseen stabiilisuuteen (Artturi 2014)

7. Johtopäätökset

Rehun säilönnälliseen laatuun vaikutti todennäköisesti eniten molempien kasvustojen märkyys. Esikuivatuksella märkyyttä olisi mahdollisesti pystytty vähentämään ja näin helpottamaan rehun säilöntää. Erityisesti muurahaishappopohjaisen säilöntäaineen annostuksessa rehun märkyys olisi pitänyt ottaa huomioon, sillä sen vaikutus jäi todennäköisesti liiallisen laimentumisen takia odotettua heikommaksi.

Herne- ja härkäpapuvehnäsäilörehut olivat esioletuksista poiketen suhteellisen helposti säilöittäviä kasvustoja siitä huolimatta, että palkoviljan osuus rehusta oli kasvustossa suhteellisen suuri. Kasvustojen puskurikapasiteetit olivat samalla tasolla tavallisen nurmirehun kanssa eivätkä siis vastustaneet kovin voimakkaasti rehun pH:n laskua. Samoin myös molemmissa kasvustoissa vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuudet olivat melko korkeita tavanomaisiin palkokasvien pitoisuuksiin nähden. Maitohappobakteereilla oli siis hyvät edellytykset toimia näiden kasvustojen säilönnässä.

Hernevehnäsäilörehut olivat voimakkaammin käyneitä kuin härkäpapuvehnäsäilörehut. Tämä johtui todennäköisesti suuremmasta sokeripitoisuudesta ja hieman voimakkaammasta puskurikapasiteetista, jonka takia pH:n laskemiseen käymistä hillitsevälle tasolle rehuun piti tuottaa enemmän maitohappoa. Toisaalta MH-käsittelyissä säilöntäaineen annostus ei ollut ehkä riittävä rehussa tapahtuvan mikrobitoiminnan rajoittamiseen.

Painorehun ja biologisilla säilöntäaineilla säilöttyjen rehujen käymislaatu oli tyydyttävä voimakkaan käymisen takia, kun taas muurahaishappopohjaisella säilöntäaineella säilötyn rehun käymislaatu oli korkeasta pH:sta huolimatta melko hyvä. PR-, B1- ja B2- rehuissa oli suuria määriä maito- ja etikkahappoa sekä ammoniumtyyppiä. Tämä voimakas käyminen on todennäköisesti näin ollen myös heikentänyt rehun ruokinnallista laatua. Muurahaishappopohjaisella säilöntäaineella tehdyn rehun käyminen oli rajoittunutta. Erityisesti härkäpapuvehnärehun käyminen oli hyvin rajoittunutta.

Luontaisten maitohappobakteerien suuri määrä rehuraaka-aineessa paransi painorehujen säilönnällisen laadun tuloksia muihin käsittelyihin nähden. Ne myös todennäköisesti tasoittivat biologisilla säilöntäaineilla käsiteltyjen rehujen välisiä eroja. Hii-

vojen ja homeiden pitoisuudet olivat kasvustoissa melko suuria jo ennen säilöntää ja säilönnän jälkeen. Näin ollen voidaan olettaa, että tämä suuri lähtökohtainen hiivojen ja homeiden määrät lisäsivät riskiä rehun aerobiselle pilaantumiselle.

Härkäpapuvehnäsäilörehut olivat herkempiä aerobiselle pilaantumiselle kuin hernevehnäsäilörehut. Tämä saattaa johtua härkäpapuvehnän pienemmistä käymishappopitoisuuksista. Erityisesti etikkahapon on todettu parantavan säilörehujen aerobista stabiilisuutta. Säilöntäaineet vaikuttivat eri tavalla rehujen aerobiseen stabiilisuuteen. Hernevehnäsäilörehu sekä seosrehut olivat koko kokeen stabiileimpia muurahaishappopohjaisella säilöntäaineella säilöttynä. Härkäpapuvehnärehussa B2- käsittelyllä saatiin paras aerobinen stabiilisuus, joka kuitenkin oli huomattavasti heikompi kuin hernevehnän MH-käsittelyssä. Seosrehut olivat aerobisesti vähemmän stabiileja kuin säilörehut, mutta lämpenivät samassa järjestyksessä kuin säilörehut.

Kokonaisuudessaan tämän kokeen tulosten perusteella voidaan sanoa, että hernevehnä ja härkäpapuvehnä soveltuvat hyvin säilörehun raaka-aineeksi ja niitä on mahdollista säilöä myös luonnonmukaisessa tuotannossa sallituilla säilöntäaineilla. Säilöntäaineettomuus ei kuitenkaan ole hyvä vaihtoehto tämän tyyppisen kostean säilörehun säilömiseen, vaikka tässä kokeessa luontaisten maitohappobakteerien suuri määrä tasoittikin rehujen välisiä eroja. Parhaat käymislaadut ja aerobinen stabiilius saatiin käyttämällä muurahaishappopohjaista säilöntäainetta.

Kiitokset

Kiitokset Edistystä luomutuotantoon –hankkeelle, jonka alaisuuteen minut palkattiin kesäksi 2013 tekemään maisterintutkielmaani MTT Jokioisille. Kiitos hankkeen julkiselle rahoittajalle Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastolle, joka tuki maksettiin Pohjois-Pohjanmaan Ely-keskuksen kautta ja yksityisrahoittajina toimineille A-Tuottajat Oy:lle, Valio Oy:lle, Taminco Finland Oy:lle, BT Agro:lle sekä yksityiset viljelijöille. Haluan kiittää myös molempia ohjaajiani vanhempaa tutkijaa Arja Seppälää ja yliopiston lehtoria Seija Jaakkolaa, jotka kärsivällisesti korjasivat samat virheet useita kertoja peräjälkeen. Kiitos myös Luke Jokioisten työkavereille, jotka hyväksyitte joukkoonne hieman hukassa olevan opiskelijan ja opastitte tutkimustyössä alkuun.

Kiitos myös pitkähermoiselle avomiehelleni Henrille, joka hieman alle kahden vuoden ajan on kuunnellut jokailtaisen päivitykseni ja valitukseni gradu etenemisestä tai etenemättömyydestä. Kiitos lisäinnon luomisesta gradun tekoon äidille, isälle ja Kyöstille, jotka ovat innolla lähteneet kokeilemaan samanlaista härkäpapurehua. Kiitos myös opiskelukavereille, jotka olette yhtäläillä tsempanneet minua tässä rupeamassa. Nyt se on vihdoinkin valmis!

Lähteet

- Adesogan, A. T. & Salawu, M. B. 2002. The effect of different additives on the fermentation quality, aerobic stability and in vitro digestibility of pea/wheat bi-crop silages containing contrasting pea to wheat ratios. *Grass and Forage Science* 57: 25-32.
- Adesogan, A. T. & Salawu, M. B. 2004. Effect of applying formic acid, heterolactic bacteria or homolactic and heterolactic bacteria on the fermentation of bi-crops of peas and wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84: 983-992.
- Adesogan, A. T., Salawu, M. B., Williams, S. P., Fisher, W. J. & Dewhurst, R. J. 2004. Reducing concentrate supplementation in dairy cow diets while maintaining milk production with pea-wheat intercrops. *Journal of Dairy Science* 87:3398-3406.
- Amosse, C. Jeuffroy, M., Celette, F. & David C. 2013. Relay-intercropped forage legume help to control weeds in organic grain production. *European Journal of Agronomy* 49: 158-167.
- AOAC, 1990. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, VA. 1298 p. ISBN 0-935584-42-0.
- Artturi 2014. Rehuanalyysin tulkinta/ märehitijät. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuslaitos ja Valio. Viitattu 30.11.2014.
https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Artturi/Rehuanalyysi/Rehuanalyysin_tulkinta_marehtijat. MTT & Valio.
- Borreani, G., Peiretti, P. G. & Tabacco, E. 2007. Effect of harvest time on yield and pre-harvest quality of semi-leafless grain peas (*Pisum sativum* L.) as whole-crop forage. *Field Crops Research* 100: 1-9.
- Borreani, G., Chion, A. R., Colombini, S., Odoardi, M., Paoletti, R. & Tabacco, E. 2009. Fermentative profiles of field pea (*Pisum sativum*), faba bean (*Vicia faba*) and white lupin (*Lupinus albus*) silages as affected by wilting and inoculation. *Animal Feed Science and Technology* 151: 316-323.

Broderick, G. A. 2003. Effect of varying dietary protein and energy levels on production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86: 1370-1381.

Daniel, J. L. P., Amaral, R. C., Goulart, R. S., Zopollatto, M., Santos, V. P., Toledo Filho, S. G., CabezasGarcia, E. H., Lima, J. R., Santos, M. C. & Nussio, L. G. 2013. Short-term effects of silage volatile compounds on feed intake and digestion in beef cattle. *Journal of Animal Science* 91: 2321-2331.

Dinic, B., orevic, N., Radovic, J. & Anelkovic, B. 2012. Modern techniques for legumes ensilaging. *Macedonian Journal of Animal Science* 2: 297-303.

Driehuis, F. 2013. Silage and the safety and quality of dairy foods: a review. *Agricultural and Food Science* 22: 16-34.

EFSA. 2006. Opinion of the Scientific Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed for the establishment of guidelines on the assessment of safety and efficacy of silage additives, on a request from the Commission under Article 7(5) of Regulation (EC) No 1831/2003. *The EFSA Journal* (2006) 349, 1-10.

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. 2012. Tiedote luomusetuksen muutoksista. Viitattu 8.8.2014.

http://www.evira.fi/files/attachments/fi/evira/asiakokonaisuudet/luomu/elaimet/rehut/tiedotteet/tiedote_6763_0405_2012.pdf.

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. 2013. Eviran tiedote luomulistojen ylläpidon lopettamisesta. Viitattu: 19.6.2013

http://www.evira.fi/files/attachments/fi/elaimet/rehut/tiedotteet/tied_2013/tiedote_7954_0405_2013.pdf.

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. 2015. Luomutuotanto 2 – Eläintuotannon ehdot. Eviran ohje 18217/6. Viitattu 1.4.2015. Saatavissa:

http://www.evira.fi/files/attachments/fi/evira/asiakokonaisuudet/luomu/lomakkeet_ja_ohjeet/ohje_luomutuotanto_2_versio_6_elaintuotannon_ehdot_fi_netti.pdf.

EU 834/2007. Council Regulation (EC) No 834/2007 of 28 June 2007 on organic production and labelling of organic products and repealing Regulation (EEC) No 2092/91.

EU 889/2008. Commission Regulation (EC) No 889/2008 of 5 September 2008 laying down detailed rules for the implementation of Council Regulation (EC) No 834/2007 on organic production and labelling of organic products with regard to organic production, labelling and control.

EU 505/2012. Commission Implementing Regulation (EU) No 505/2012 of 14 June 2012 amending and correcting Regulation (EC) No 889/2008 laying down detailed rules for the implementation of Council Regulation (EC) No 834/2007 on organic production and labelling of organic products with regard to organic production, labelling and control.

EU 2014. European Union Register of Feed Additive pursuant to Regulation (EC) No 1831/2003, Appendixes 3e & 4(I). Annex I: List of additives (Released 12.5.2014) <http://ec.europa.eu/food/food/animalnutrition/feedadditives/comm_register_feed_additives_1831-03.pdf.

Fraser, M. D., Fychan, R. & Jones, R. 2001. The effect of harvest date and inoculation on the yield, fermentation characteristics and feeding value of forage pea and field bean silages. *Grass and Forage Science* 56: 218-230.

Ghanbari-Bonjar, A. & Lee, H. C. 2003. Intercropped wheat (*Triticum aestivum* L.) and bean (*Vicia faba* L.) as a whole-crop forage: Effect of harvest time on forage yield and quality. *Grass and Forage Science* 58: 28-36.

Haacker, K., Block, H.J. & Weissbach, F. 1983. Zur kolorimetrischen Milchsäurebestimmung in Silagen mit p-Hydroxydiphenyl. [On the colorimetric determination of lactic acid in silages with p-hydroxydiphenyl]. *Archiv für Tierernährung*, 33: 505-512.

Huhtanen, P., Nousiainen, J. & Rinne, M. 2005. Prediction of silage composition and organic matter digestibility from herbage composition and pepsin-cellulase solubility. *Agricultural and Food Science* 14: 154-165.

Huhtanen, P., Nousiainen, J. & Rinne, M. 2006. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications. *Agricultural and Food Science* 15, 3: 293-323.

- Huhtanen, P., Rinne, M. & Nousiainen, J. 2007. Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: a revision of the relative silage dry-matter intake index. *Animal* 1: 758-770.
- Huhtanen, P., Rinne, M. & Nousiainen, J. 2008. Evaluation of concentrate factors affecting silage intake of dairy cows: a development of the relative total diet intake index. *Animal* 2: 942-953.
- Huhtanen, P.J., Blauwiel, R. & Saastamoinen, I. 1998. Effects of intraruminal infusions of propionate and butyrate with two different protein supplements on milk production and blood metabolites in dairy cows receiving grass silage based diet. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 77: 213-222.
- Huuskonen, A., Pesonen, M. & Honkavaara, M. 2014. Palkokasvisäilörehujen vaikutukset sonnien kasvu- ja teurastuloksiin sekä lihan laatuun. Teoksessa: Huuskonen, A. Edistystä luomutuotantoon- loppuraportti. MTT Raportti 175: 73-92.
- Huida, L., Väätäinen, H. & Lampila, M. 1986. Comparison of dry matter contents in grass silages as determined by oven drying and gas chromatographic water analysis. *Annales Agriculturae Fenniae* 25: 215-230.
- Jaakkola, S., Saarisalo, E. & Heikkilä, T. 2009. Formic acid treated whole crop barley and wheat silages on dairy cow diets: effect of crop maturity, proportion in the diet, and level and type of concentrate supplementation. *Agricultural and Food Science* 18: 234-256.
- Jacobs, J. L. & Ward, G. N. 2013. Effect of cereal and pea monocultures and combinations and silage additives on whole-crop cereal silage nutritive and fermentation characteristics. *Animal Production Science* 53: 427.
- Kaiser, A. G., Piltz, J. W., Burns, H. M. & Griffiths, N. W. 2004. Successful silage. NSW Department of Primary Industries. Viitattu 20.2.2015. Saatavilla: http://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0005/294053/successful-silage-topfodder-complete.pdf.
- Kasmaei, K. M., Rustas, B. O., Spornly, R. & Uden, P. 2013. Prediction models of silage fermentation products on crop composition under strict anaerobic conditions: a meta-analysis. *Journal of Dairy Science* 96: 6644-6649.

KTTK 1998. KTTK tiedottaa. Kasvintuotannon tarkastuskeskus, Maatalouskemian osasto. tiedote 7/1998.

Kung Jr, L., Stokes, M. R. & Lin, C. J. 2003. Silage additives. Silage science and technology, Agronomy, ISSN 0065-4663; no. 42. Madison, WI: American Society of Agronomy, s. xix, 927 s.

Kuoppala, K., Lötjönen, T., Saarinen, E., Suomela, R., Hyrkäs, M. & Huuskonen, A. 2014a. Palkokasviviljakasvustojen satoisuus ja rehuarvo. Teoksessa: Huuskonen, A. (toim.). Edistystä luomutuotantoon- loppuraportti. MTT Raportti 175: 28-37.

Kuoppala, K., Rinne, M., Lötjönen, T. & Huuskonen, A. 2014b. Palkokasveja sisältävien kokoviljasäilörehujen rehuarvon tarkentaminen ruokinnan optimoimiseksi. Teoksessa: Huuskonen, A (toim.). Edistystä luomutuotantoon- loppuraportti. MTT Raportti 175: 37-49.

Lin, C. J., Bolsen, K. K., Brent, B. E. & Fung, D. Y. C. 1992. Epiphytic lactic acid bacteria succession during the pre-ensiling and ensiling periods of alfalfa and maize. *Journal of Applied Bacteriology* 73: 375-387.

Lorenz, M. M. & Udén, P. 2011. Influence of formic acid and dry matter on protein degradation in the tanniniferous legume sainfoin. *Animal Feed Science and Technology* 164: 217-224.

Luke. 2015. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset [verkkojulkaisu]. Jokioinen: Luke Luonnonvarakeskus. [viitattu 18.2.2015]. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/rehutaulukot>.

Lötjönen, T. 2014. Kestorikkakasvien torjunta vilja- ja valkuaiskasvien viljelyn näkökulmasta. Teoksessa: Huuskonen, A. (toim.). Edistystä luomutuotantoon- hankkeen loppuraportti. MTT Raportti 175: 9-22.

Manninen, M., Nykänen, A., Jauhiainen, L. ja Suvitie, M. 2006. Ohrahernekokoviljasäilörehun ja loppukasvatuksen väkirehuintensiteetin vaikutus hereford-sonnien tuotantoon. Julkaisussa: Maataloustieteen Päivät 2006 [verkkojulkaisu]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 21. Toim. Anneli Hoppo-nen. Viitattu 13.1.2015. Julkaistu 9.1.2006. Saatavilla Internetissä: <http://www.smts.fi> (Ohra-hernekokoviljasäilörehun ja loppukasvatuksen väkirehuintensiteetin vaikutus hereford-sonnien tuotantoon). ISBN 951-9041-49-4.

- McCullough, H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by direct colorimetric method. *Clinica Chimica Acta* 17: 297-304.
- McDonald, P., Henderson, N. & Heron, S. 1991. *The biochemistry of silage*. 2nd ed. painos. Marlow: Chalcombe. 340 s.
- MMM. 2010. Rehutyöryhmän raportti. Maa- ja metsätalousministeriö. Viitattu 22.6.2013.
http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/tyoryhmuistioid/2010/5u8Zwr8Vm/Rehustrategiatyoryhman_raportti_final_NEW_220910.pdf.
- MMM. 2011. Maa- ja metsätalousministeriön ilmastonmuutokseen sopeutumisen toimintaohjelma 2011-2015. Viitattu 19.6.2013.
http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/muutjulkaisut/5yZhPxNpC/MMM_n_ilmastonmuutoksen_sopeutumisen_toimintaohjelma.pdf.
- Moisio, T. & Heikonen, M. 1992. *AIV-rehun perusteet*. Helsinki: Kirjayhtymä. 170 s.
- Muck, R. 2013. Recent advances in silage microbiology. *Agricultural and Food Science* 22: 3-15.
- Mustafa, A. F. & Seguin, P. 2003. Characteristics and in situ degradability of whole crop faba bean, pea, and soybean silages. *Canadian Journal of Animal Science* 83: 793-799.
- Niemi, J., Sipilä, T. & Karhula, T. 2012. Valkuaisomavaraisuus- onko se mahdollista?. *Suomen maatalous- ja maaseutuelinkeinot* 2011. s. 32-33. Viitattu 19.6.2013.
- Nykänen, A., Haannukkala, A., Rinne, M. & Salo, T. 2010. Palkokasvit nurmitilan kierrossa. *Maataloustieteen Päivät 2010* [verkkojulkaisu]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 26. Toim. Anneli Hopponen. Viitattu [20.3.2010]. Julkaistu 11.1.2010. Saatavilla Internetissä: <http://www.smts.fi> (Palkokasvit nurmitilan kierrossa). ISBN 978-951-9041-54-4.
- Pahlow, G., Rammer, C., Slottner, D., Tuori, M. ja Hellamäki M. 2001. Ensiling of forage legumes. Teoksessa: *Low-input animal production based on forage legume for silage*. Contract No. FAIR CT 96-1832: 141-144.

- Pahlow, G., Muck, R. E., Driehuis, F., Oude Elferink, S. J. W. H. & Spoelstra, S. F. 2003 Microbiology of ensiling. In: Buxton, D. R. (Ed.). *Silage Science and Technology*. American Society of Agronomy Inc. Madison, USA. pp. 31-94.
- Playne, M. J. & McDonald, P. 1966. The buffering constituents of herbage and of silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 17: 264-268.
- Puhakka, L., Jaakkola, S., Kokkonen, T. & Vanhatalo, A. 2014. Härkäpapu lypsylehmien valkuaisrehuna. Julkaisussa: *Maataloustieteen Päivät 2014* [verkkojulkaisu]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 30. Toim. Mikko Hakojärvi ja Ni-na Schulman. Viitattu 15.11.2014. Julkaistu 9.1.2014. Saatavilla Internetissä: www.smts.fi (Härkäpapu lypsylehmien valkuaisrehuna). ISBN 978-951-9041-58-2.
- Pursiainen, P. & Tuori, M. 2008. Effect of ensiling field bean, field pea and common vetch in different proportions with whole-crop wheat using formic acid or an inoculant on fermentation characteristics. *Grass and Forage Science*: 63: 60-78.
- Raun, B. M. L. & Kristensen, N. B. 2011. Metabolic effects of feeding ethanol or propanol to postpartum transition Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 94: 2566-2580.
- Reich, L. & Kung, L. Jr. 2010. Effects of combining *Lactobacillus buchneri* 40788 with various lactic acid bacteria on the fermentation and aerobic stability of corn silage. *Animal Feed Science and Technology* 159: 105-109.
- Richardt, W. 2012. Silage quality and animal health. Teoksessa: Auerbach, H., Lückstädt, C. & Weissbach, F. (toim.). *The Future of Silage Preservation*. Proceedings of 1st International Silage Summit. Leipzig, November 12th, 2012. s. 43-66.
- Rinne, M., Huhtanen, P. & Nousiainen, J. 2008. Karkearehujen sulavuuden määrittäminen tarkentunut. Julkaisussa: *Maataloustieteen Päivät 2008* [verkkojulkaisu]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran tiedotteita no 23. Toim. Anneli Hopponen. Viitattu 10.12.2014. Julkaistu 9.1.2008. Saatavilla Internetissä: <http://www.smts.fi> (Karkearehujen sulavuuden määrittäminen tarkentunut). ISBN 978-951-9041-51-3.
- Rondahl, T., Bertilsson, J., Lindgren, E. & Martinsson, K. 2006. Effects of stage of maturity and conservation strategy on fermentation, feed intake and digestibility of whole-crop pea-oat silage used in dairy production. *Animal Science* 56:3-4, 137-147.

Rondahl, T., Bertilsson, J. & Martinsson, K. 2007. Mixing whole-crop pea–oat silage and grass–clover silage: positive effects on intake and milk production of dairy cows. *Grass and Forage Science* 62: 459–469

Rondahl, T., Bertilsson, J. & Martinsson, K. 2011. Effects of maturity stage, wilting and acid treatment on crude protein fractions and chemical composition of whole crop pea silages (*Pisum sativum* L.). *Animal Feed Science and Technology* 163: 11–19.

Saaten Union. 2015a. Florida pea. Viitattu: 17.2.2015. <http://www.saaten-union.com/index.cfm/product/2,5,pea,4.html>

Saaten Union. 2015b. Fuego bean. Viitattu 17.2.2015. <http://www.saaten-union.com/index.cfm/product/2,6,bean,4.html>

Salawu, M. B., Adesogan, A. T. & Dewhurst, R. J. 2002. Forage intake, meal patterns, and milk production of lactating dairy cows fed grass silage or pea-wheat bi-crop silages. *Journal of Dairy Science* 85: 3035–3044.

Salawu, M. B., Adesogan, A. T., Weston, C. N. & Williams, S. P. 2001a. Dry matter yield and nutritive value of pea/wheat bi-crops differing in maturity at harvest, pea to wheat ratio and pea variety. *Animal Feed Science and Technology* 94: 77–87.

Salawu, M. B., Warren, E. H. & Adesogan, A. T. 2001b. Fermentation characteristics, aerobic stability and ruminal degradation of ensiled pea/wheat bi-crop for-ages treated with two microbial inoculants, formic acid or quebracho tannins. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81: 1263–1268.

Scmidt, L., Weissbach, F., Wernecke, K.-D. & Hein, E. 1971. Erarbeitung von Parametern für die Virhersage Steuerung des Gäverlaufes bei der Grünfuttersilierung. Forschungsbericht, Oskar-Kellner-Institut für Tierernährung, Rostock.

Seppälä, A., Heikkilä, T., Mäki, M. & Rinne, M. 2014. Comparison of silage additives on their effects on silage fermentation quality and aerobic stability of the silage and total mixed ration. *Käsikirjoitus*.

- Simon, U. & Park, B.H. 1981. A Descriptive Scheme for Stages of Development in Perennial Forage Grasses. In: Proceedings of the XVI International Grassland Congress, Lexington, Kentucky, USA. Smith, J. A. Hays, V.W. (Eds). pp.416 - 418.
- Slotner, D. & Bertilsson, J. 2006. Effect of ensiling technology on protein degradation during ensilage. *Animal Feed Science and Technology* 127: 101-111.
- Somogyi, M. 1945. A new reagent for the determination of sugars. *Journal of Biological Chemistry* 160: 61-68.
- Tilasiemen Oy. 2015. AnninaBOR –kevätvehnä. 2015. Viitattu: 16.2.2015.
http://www.tilasiemen.fi/siemenet/viljat/anniina_bor__vehn_/?MITdomain=http://www.tilasiemen.fi/siemenet/viljat/anniina_bor__vehn_/;&MITappl=ts&MITform=docu_laaja&id=1129.
- Tufarelli, V., Khan, R. U. & Laudadio, V. 2012. Evaluating the suitability of field beans as a substitute for soybean meal in early-lactating dairy cow: Production and metabolic responses. *Animal Science Journal* 83: 136-140.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. & Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74: 3583-3597.
- Weinberg, Z. G., Ashbell, G., Hen, Y. & Azrieli, A. 1995. The effect of cellulase and hemicellulase plus pectinase on the aerobic stability and fibre analysis of peas and wheat silages. *Animal Feed Science and Technology* 55: 287-293.
- Weissbach, F. & Honig, H. 1996. Über die Vorhersage und Steuerung des Gärungsverlaufs bei der Silierung von Grünfutter aus extensivem Anbau. *Landbauforschung Völkenrode* 46: 10–17.
- Wilkinson, J. M. & Davies, D. R. 2013. The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. *Grass and Forage Science* 68: 1-19.