

HÄRKÄPAPU-KEVÄTVEHNÄSÄILÖREHUN JA RYPSIROUHEEN
ANNOSTASON VAIKUTUS MAIDONTUOTANTOON, MAIDON
KOOSTUMUKSEEN JA TYPEN HYVÄKSIKÄYTTÖÖN
LYPSYLEHMÄN RUOKINNASSA

Pirkko Korhonen
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden laitos
Kotieläinten ravitsemustiede
2016

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Pirkko Korhonen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Härkäpapu-kevätevehnäsäilörehun ja rypsirouheen annostason vaikutus maidontuotantoon, maidon koostumukseen ja typen hyväksikäyttöön lypsylehmän ruokinnassa.			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kotieläinten ravitsemustiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma		Aika — Datum — Month and year Maaliskuu 2016	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 54 s.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Kotimaassa viljellyt palkokasvit, joita pystytään hyödyntämään eläinten ruokinnassa, vähentävät riippuvuutta tuontivalkuaisesta. Biologisen typensidonnan ansiosta palkokasvit eivät tarvitse kalliita mineraalityypilannoitteita ja niillä on hyvä esikasviarvo.</p> <p>Tässä tutkimuksessa selvitettiin härkäpapu-kevätevehnäkokoviljasäilörehun ja ruokinnan valkuaisäidäntäyden vaikutusta maidontuotantoon ja maidon koostumukseen, erityisesti rasvahappokoostumukseen, sekä typen hyväksikäyttöön. Nurmisäilörehuun pohjautuvaa ruokintaa verrattiin härkäpapu-kevätevehnänurmisäilörehuruokintaan, jossa puolet karkearehun kuiva-aineesta korvattiin härkäpapu-kevätevehnäsäilörehulla. Väkirehutäydennyksen (13 kg/vrk) raakavalkuaispitoisuudet olivat joko 175 g/kg ka (rypsirouheen määrä 2 kg/vrk/lehmä) tai 200 g/kg ka (rypsirouheen määrä 3,5 kg/vrk/lehmä). Lehmät saivat säilörehua vapaasti. Ruokintakoe toteutettiin Helsingin yliopiston opetus- ja tutkimustilan navetassa Viikissä 1.2. – 26.4.2014. Koe-eläiminä oli kahdeksan ayrshire-rotuista lypsylehmää, joista neljä oli pötsifistelöityjä. Ruokintakokeen malli oli kaksinkertainen 4x4 latinalainen neliö. Koejakson pituus oli 21 vrk.</p> <p>Tämän tutkimuksen perusteella härkäpapu-kevätevehnäsäilörehulla voi korvata puolet nurmisäilörehusta kuiva-aineen syönnin ja maitotuotoksen kärsimättä, kun molemmat säilörehut ovat hyvälaatuisia. Rypsirouheen määrän lisääminen ei tuonut tässä tutkimuksessa lisämaitolitroja eikä lisännyt maidon pitoisuuksia. Maidon rasvapitoisuus väheni, kun rypsirouheen määrää lisättiin. Myös mikrobitypen muodostuminen oli vähäisempää. Pötsin valkuaisaste (PVT) oli kaikilla koeruo-kinnoilla positiivinen, joten pötsissä hajoavan valkuaisen saanti ei ollut todennäköisesti rajoittava tekijä mikrobitypen synteessissä. Lehmät söivät vähemmän tärkkelystä ja mikrobien käytössä oli täten todennäköisesti vähemmän energiaa, kun rypsin annostaso oli korkea verrattuna matalaan tasoon. Rehutypen hyväksikäyttö maitovalkuaiseksi heikkeni, kun rypsirouheen määrä väkirehussa lisääntyi ja säilörehussa oli härkäpapu-kevätevehnäsäilörehua. Kun karkearehu sisälsi härkäpapu-kevätevehnäsäilörehua, rypsirouheen määrän lisääminen ruokinnassa lisäsi merkittävästi maidon ureapitoisuutta.</p> <p>Alfalinoleenihappo (18:3n-3) siirtyi tehokkaammin rehusta maitoon härkäpapu-kevätevehnäsäilörehua sisältäneissä ruokinnoissa kuin karkearehun ollessa puhdasta nurmisäilörehua. Suurempi osa härkäpapu-kevätevehnäsäilörehun kuin nurmisäilörehun pitkäketjuisista rasvahapoista, etenkin 18:3n-3, säästyi ilmeisesti pötsissä biohydrogenaatiolta. Kun rypsirouheen määrä väkirehussa lisääntyi, maidon rasvatuotos väheni johtuen todennäköisesti palmitiinihapon (16:0) vähäisemmästä <i>de novo</i> -synteestistä maitorauhasessa. Vähäisempää <i>de novo</i> -synteesiä saattaa selittää se, että rypsin annostason nosto lisäsi hieman pitkäketjuisten, tyydyttymättömien rasvahappojen saantia. Plasman etikka- ja voihappopitoisuuksissa ei ollut eroa koeruo- kintojen välillä, mutta plasman insuliinipitoisuudet suurensivat rypsin annostason noustessa (plasmadata esitetty Termosen tutkielmassa 2015), mistä johtuen maitorasvan esiaineet ovat voineet osin ohjautua maitorauhasen ohi.</p> <p>Härkäpapu-kevätevehnäsäilörehulla voitiin korvata puolet nurmisäilörehusta maitotuotoksen kärsimättä vaikka härkäpapurehun sulavuus oli nurmirehua huonompi. Rypsirouheen määrän lisääminen ei vaikuttanut maitotuotokseen. Se vähensi rasvatuotosta ja heikensi typen hyväksikäyttöä, minkä takia se ei ollut tämän tutkimuksen perusteella järkevää.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Härkäpapu, rypsirouhe, lypsylehmä, rasvahappokoostumus, typen hyväksikäyttö			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Työtä ohjasivat tutkijatohtori Anni Halmemies-Beauchet-Filleau ja yliopistonlehtori Seija Jaakkola			

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Pirkko Korhonen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title The effects of fababean-spring wheat whole crop silage and the amount of rapeseed meal on milk production, milk composition and nitrogen utilisation			
Oppiaine — Läroämne — Subject Animal Nutrition			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year March 2016	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 54 p.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>The use of domestically cultivated legumes in animal feeding reduce our dependence of imported protein. Legumes don't need expensive mineral fertilizers because of biological nitrogen fixation and they are useful as a preceding crop in rotation.</p> <p>In this experiment, the effects of fababean-spring wheat whole crop silage at two different level of crude protein in concentrate on milk production and milk fatty acid composition, were investigated. The effects on nitrogen utilisation were also investigated. The silage treatments were grass silage and mixture of grass silage and fababean-spring wheat whole crop silage (1:1 in dry matter DM). Crude protein contents in concentrate (13 kg/d) were 175 g/kg DM containing 2 kg rapeseed meal/day/cow and 200 g/kg DM containing 3,5 kg rapeseed meal/day/cow. The silages were offered <i>ad libitum</i>. The experiment was carried out at the University of Helsinki research farm in Viikki on 1.2. – 26.4.2014. Eight multiparous Finnish Ayrshire cows participated in this experiment and four of them were rumen fistulated. Experimental design was replicated 4 x 4 Latin square with 21 d periods.</p> <p>The experiment showed that faba bean-spring wheat whole crop silage can replace half of grass silage in dairy cow feeding without decreasing DM intake and milk production, when both of silages are of good quality. Increasing the amount of rapeseed meal in concentrate didn't increase milk production, but decreased milk fat yield in milk. The protein synthesis in the rumen was also decreased, when the amount of rapeseed in concentrate increased. The nitrogen balance in the rumen was positive in all treatments. So the amount of rumen degradable protein didn't probably limit the microbial protein synthesis. The cows ate less starch and rumen microbes got probably less energy, when the amount of rapeseed meal was high. The utilisation of N from feed to milk was worse, when the amount of rapeseed meal increased and when silage contained fababean-spring wheat. Milk urea content was markedly increased, when the amount of rapeseed meal in concentrate increased on faba bean- spring wheat containing diets.</p> <p>The transfer of α-linolenic acid (18:3n-3) from feed to milk was more efficient in fababean-spring wheat-grass silage feeding than in pure grass silage feeding. The ruminal biohydrogenation of long chain fatty acids, especially 18:3-3, of fababean-spring wheat silage, was possibly lowered. When the amount of rapeseed meal in concentrate increased, the decrease in milk fat yield was possibly due to decrease in <i>de novo</i>-synthesis of palmitic acid (16:0) in the mammary gland. The bigger amount of rapeseed meal increased the intake of long chain unsaturated fatty acids, that may have inhibited <i>de novo</i>-synthesis. There weren't differences between feedings in plasma concentration of acetic and butyric acids, but the concentrations of insulin increased (plasma data presented in Termonen's thesis 2015), when the amount of rapeseed increased. The precursors of milk fat probably passed partly the mammary gland.</p> <p>The half of grass silage could be replaced with faba bean-spring wheat silage without a decrease in milk production. Increasing the amount of rapeseed meal in concentrate didn't affect the milk production. It decreased milk fat content and reduced nitrogen utilisation and so it wasn't reasonable in this experiment.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Fababean, rapeseed, dairy cow, fatty acid, nitrogen utilisation			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisors: postdoctoral researcher Anni Halmemies-Beauchet-Filleau and university lecturer Seija Jaakkola			

SISÄLLYS

LYHENTEET	6
1 HÄRKÄPAPU-KEVÄTVEHNÄSÄILÖREHUN JA RYPSILISÄN VAIKUTUS MAIDONTUOTANNOSSA.....	7
1.1 Syönti ja maitotuotos	7
1.2 Maidon rasvahappokoostumus.....	9
1.3 Typen hyväksikäyttö	12
1.4 Tutkimuksen tavoite.....	14
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	14
2.1 Koejärjestelyt	14
2.1.1 Koe-eläimet ja koeasetelma	14
2.1.2 Rehut ja ruokinta.....	15
2.2 Mittaukset.....	17
2.2.1 Maitotuotos	17
2.2.2 Kuntoluokka ja elopaino	18
2.2.3 Rehunkulutus	18
2.3 Näytteenotto	18
2.3.1 Rehunäytteet.....	18
2.3.2 Maitonäytteet	19
2.3.3 Pötsinestenäytteet.....	19
2.3.4 Sontanäytteet	20
2.3.5 Virtsanäytteet	20
2.4 Näytteiden käsittely ja analysointi	20
2.5 Tulosten laskenta ja tilastollinen analyysi.....	22
3 TULOKSET	23
3.1. Rehujen kemiallinen koostumus ja säilörehujen säilönnällinen laatu.....	23
3.2. Rehujen syönti ja ravintoaineiden saanti.....	26
3.3. Pötsikäyminen	28
3.4. Maitotuotos, maidon koostumus ja rehun hyväksikäyttö.....	31
3.5. Typen hyväksikäyttö	34
4 TULOSTEN TARKASTELU.....	35
4.1 Rehujen kemiallinen koostumus ja rehuarvot.....	35

4.2 Syönti ja ravintoaineiden saanti	38
4.3 Pötsikäyminen	40
4.4 Maitotuotos ja maidon koostumus	41
4.5 Maidon rasva- ja rasvahappotuotos.....	42
4.6 Typen saanti ja jakaantuminen.....	43
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	44
6 KIITOKSET	45
LÄHTEET	46

LYHENTEET

AIA = happoon liukenematon tuhka (acid insoluble ash)

BHBA = β -hydroksivoihappo (β -hydroxybutyric acid)

D-arvo = sulavan orgaanisen aineen pitoisuus kuiva-aineessa, g/kg ka

EKM = energiakorjattu maito

HP = härkäpapu

H₂SO₄ = rikkihappo

iNDF = sulamaton neutraalidetergenttikuitu (indigestible neutral detergent fiber)

ka = kuiva-aine

Luke = Luonnonvarakeskus

ME = muuntokelpoinen energia

MUFA = kertatydyttynyt rasvahappo (monounsaturated fatty acid)

NaOH = natriumhydroksidi

NDF = neutraalidetergenttikuitu (neutral detergent fiber)

OIV = ohutsuolesta imeytyvä valkuainen

pdNDF = potentiaalisesti sulava NDF (potentially digestible NDF)

PUFA = monitydyttymätön rasvahappo (polyunsaturated fatty acid)

PVT = pötsin valkuaistase

RV = raakavalkuainen

RV175 = väkirehun valkuaispitoisuus 175 g/kg ka

RV200 = väkirehun valkuaispitoisuus 200 g/kg ka

SEM = keskiarvon keskivirhe

SFA = tyydyttynyt rasvahappo (saturated fatty acid)

SR = säilörehun kasvilajikoostumuksen vaikutus

VALK. = väkirehun valkuaispitoisuuden vaikutus

VFA = haihtuvat rasvahapot (volatile fatty acids)

1 HÄRKÄPAPU-KEVÄTVEHNÄSÄILÖREHUN JA RYPSILISÄN VAIKUTUS MAIDONTUOTANNOSSA

Valkuaisomavaraisuus Suomessa ja koko Euroopassa on hyvin alhainen. Suomessa käytetystä rehujen täydennysvalkuaisesta vain noin 15 % on kotimaista (Kaukovirta-Norja ym. 2015). Kotimaassa viljellyt palkokasvit, joita pystytään hyödyntämään eläinten ruokinnassa, vähentävät riippuvuutta tuontivalkuaisesta. Palkokasvit sitovat juurinystyröillään ilmakehän typpeä ja eivät täten tarvitse kalliita mineraalityypilannoitteita. Palkokasveja voidaan hyödyntää kasvinvuorottelussa, koska niillä on hyvä esikasviarvo. Monivuotisia nurmipalkokasveja voidaan korjata säilörehuksi tai laiduntaa. Yksivuotiset palkoviljat tuottavat siemeniä väkirehujen raaka-aineiksi tai niitä voidaan korjata säilörehuksi kokoviljasäilörehun tapaan.

Valkuais- ja energiapitoista härkäpavun siementä on käytetty pitkään ihmisten ja eläinten ravintona (Crépon 2010). Koska härkäpapu vaatii pitkän kasvuajan tuleentuaakseen, sitä korjataan myös vihantasäilörehuksi joko puhtaana kasvustona tai seoksina viljan kanssa. Härkäpavun ja kokoviljan seos voi tuottaa onnistuessaan suuren sadon – kotimaisissa ruutukokeissa on päästy jopa yli 10 000 kg:n kuiva-ainesatoihin hehtaarilta (Saarinen ym. 2012).

1.1 Syönti ja maitotuotos

Nurmipalkokasvien, kuten puna- ja valko-apilan sekä sinimailasen, positiiviset tuotantovaikutukset ovat olleet pitkään tiedossa. Dewhurst ym. (2009) totesivat review-artikkelissaan, että nurmipalkokasveihin pohjautuvissa ruokinnoissa päästään suurempiin kokonaiskuiva-aineen syönteihin ja maitotuotoksiin kuin nurmiheinäkasveihin pohjautuvissa. Palkokasvien, joko laitumena tai säilörehuna, suurempi syönti nurmikasveihin verrattuna saattaa selittyä palkokasvien erilaisella soluseinämän rakenteella ja tehokkaalla pötsikäymisellä. Palkokasvien soluseinämät pilkkoutuvat pötsissä nopeammin kuin nurmikasvien soluseinämät, mikä lisää rehun virtausnopeutta (Dewhurst 2009).

Tärkeimmät Suomessa käytettävät palkoviljat ovat herne, härkäpapu ja lupiinit. Palkoviljojen käytöstä säilörehun raaka-aineena löytyy vähän tutkimustietoa. Salawun (2002) tutkimuksessa herne-vehnä-nurmisäilörehu sisälsi enemmän valkuaista ja tärkkelystä kuin nurmisäilörehu. Karkearehun kuiva-aineen syönti oli suurempi herne-vehnä-nurmisäilörehuun kuin nurmisäilörehuun pohjautuneessa ruokinnassa, kun ruokinnat

sisälsivät 6 kg väkirehua/vrk/lehmä. Kun väkirehun annostaso oli 9 kg/lehmä, karkearehun kasvilaji ei vaikuttanut kuiva-aineen syöntiin. Herne-vehnä-nurmisäilörehuruokinnassa maitotuotos oli 1 - 2,6 kg/vrk suurempi, valkuaispitoisuus sama, mutta rasvapitoisuus oli pienempi kuin nurmisäilörehuruokinnassa. Kotimaisessa tutkimuksessa (Markkanen 2014) on saatu samansuuntaisia tuloksia herne-kaurasäilörehuruokinnassa. Pursiaisen ja Tuorin (2006) tutkimuksessa nurmisäilörehusta korvattiin herne-ohrasäilörehulla kolmannes, kaksi-kolmasosa ja kokonaan. Lehmät söivät vähemmän puhdasta herne-ohrasäilörehua kuin puhdasta nurmisäilörehua ja sen ja herne-ohrasäilörehun seosta. Energiakorjattu maitotuotos ja maidon rasva- ja laktoosipitoisuudet eivät poikenneet toisistaan ruokintojen välillä. Maidon valkuaispitoisuus väheni lineaarisesti, kun herne-ohrasäilörehun osuus ruokinnassa suureni.

Härkäpapusäilörehua sisältävissä ruokinnoissa lypsylehmien kuiva-aineen syönnit ja maitotuotokset ovat olleet vähintään yhtä suuria kuin nurmi-palkokasvisäilörehuruokinnassa (McKnight ja MacLeod 1977, Ingalls ym. 1979). McKnightin ja MacLeodin (1977) tutkimuksessa verrattiin puhtaasta härkäpavusta tehtyä säilörehua nurmi-palkokasviseoksesta tehtyyn säilörehuun. Maitotuotos ja maidon valkuaispitoisuus olivat säilörehun kasvilajista riippumatta samat, mutta maidon rasvapitoisuus oli härkäpapusäilörehua sisältäneessä ruokinnassa suurempi kuin nurmi-palkokasviseosta sisältäneessä. Ingallsin ym. (1979) tutkimuksessa oli kaksi härkäpapusäilörehua, joista toinen oli korjattu suoraan (kuiva-aine 33 %) ja toinen esikuivattuna (kuiva-aine 37 %). Väkirehun osuus kuiva-aineesta oli joko 60 % tai 50 %. Vertailuruokinnassa oli nurmi-palkokasviseoksesta tehty säilörehu ja väkirehun osuus oli 60 % kuiva-aineesta. Lehmät söivät härkäpapusäilörehua yhtä paljon tai enemmän kuin nurmi-palkokasvisäilörehuseosta. Maitotuotoksissa ja maidon pitoisuuksissa ei ollut eroa ruokintojen välillä.

Haag (2007) tutki kahdessa tutkimuksessaan nurmisäilörehun osittaista korvaamista härkäpapu-kevätnäsäilörehulla ja sen sekä väkirehutason vaikutusta maidontuotantoon. Molemmissa tutkimuksissa härkäpapu-kevätnäsäilörehun siemenseoksessa oli 70 % härkäpavun siementä ja 30 % kevätnänsiementä. Vertailuruokintojen karkearehuna oli puhdas nurmisäilörehu. Ensimmäisessä tutkimuksessa nurmi-härkäpapu-kevätnäsäilörehuseoksissa oli joko 70 % tai 30 % karkearehun kuiva-aineesta härkäpapu-kevätnäsäilörehua. Väkirehun määrä oli kaikissa käsittelyissä 7,2 kg/vrk/lehmä. Toisessa tutkimuksessa karkearehuna oli joko nurmisäilörehu tai puhdas

härkäpapu-kevätevehnäsäilörehu ja lehmät saivat väkirehua joko 5 tai 10 kg/vrk. Säilörehun ja koko dieetin kuiva-aineen syönneissä ei ollut eroja, kun väkirehuannos oli suuri. Sen sijaan väkirehuannoksen ollessa pieni lehmien säilörehun ja koko dieetin syönti oli suurempi annettaessa härkäpapu-kevätevehnäsäilörehua kuin nurmisäilörehua. Säilörehun kasvilaji ei vaikuttanut maitotuotokseen eikä maidon rasva-, valkuais- ja laktoosipitoisuuteen. Myöskään Louw (2009) ei havainnut eroja syönneissä, maitotuotoksissa ja maidon pitoisuuksissa, kun härkäpavusta tehtyä säilörehua verrattiin vihantakaurasta tehtyyn säilörehuun tai niiden seokseen, jonka kuiva-aineesta puolet oli vihantakaurasäilörehua ja puolet härkäpapusäilörehua. Kun hernekaura- ja härkäpapukaurasäilörehuruokintaa verrattiin 2. sadon nurmisäilörehuruokintaan (D-arvo 625 g/kg ka), rehujen syönti ja maitotuotos olivat härkäpapua sisältävässä ruokinnassa suuremmat (Markkanen 2014).

Huhtasen ym. (2011) review-artikkelin mukaan nurmisäilörehuun sekä nurmi- ja palkokasvisäilörehujen seokseen pohjautuvan ruokinnan täydentäminen rypsilä lisää kokonaiskuiva-aineen syöntiä ja parantaa dieetin sulavuutta. Markkasen (2014) mukaan härkäpapusäilörehua sisältävissä ruokinnoissa rypsilisä (3,5 kg/vrk) lisäsi myös syöntiä, maitotuotosta sekä maidon valkuais- ja ureapitoisuutta, mutta vähensi maidon rasvapitoisuutta.

Palmion ym. (2016) tutkimuksessa tutkittiin rypsitäydennyksen korvaamista härkäpapusäilörehulla, kun ruokinta perustui hyvälaatuiseen nurmisäilörehuun. Kun karkearehuun kuiva-aineesta 75 % oli härkäpapusäilörehua ja 25 % hyvälaatuista nurmisäilörehua, maitotuotos ja kokonaiskuiva-aineen syönti olivat yhtä suuret ilman rypsirouhetäydennystä kuin puhdasta nurmisäilörehua sisältäneessä ruokinnassa, jota täydennettiin rypsirouheella. Ilman rypsirouhetäydennystä ruokinnan raakavalkuaispitoisuus oli 151 g/kg ka:ssa ja rypsirouheella täydennetyssä 155 g/kg ka:ssa. Energiakorjattu maitotuotos oli suurempi rypsirouheella täydennetyssä (n. 2 kg/vrk) nurmisäilörehuruokinnassa verrattuna härkäpapusäilörehua sisältäneeseen ruokintaan (37,6 vs. 36,6 kg/vrk).

1.2 Maidon rasvahappokoostumus

Nurmikasvien rasvahappopitoisuus on tyypillisesti 10 – 40 g/kg ka. Kasvien kolme yleisintä rasvahappoa ovat palmitiinihappo (16:0), linolihappo (18:2n-6) ja α -

linoleenihappo (18:3n-3). Suurin osa kasvien lipideistä on lehdissä (Halmemies-Beauchet-Filleau 2013, Koivunen ym. 2015).

Märehtijöiden lipidimetabolia on monivaiheinen tapahtuma. Jenkinsin (1993) mukaan rehun sisältämät lipidit hajoavat nopeasti pötsiin saavuttuaan rakenneosikseen eli vapaiksi rasvahapoiksi sekä glyseroliksi (triasyyliglyseridit), glyseroliksi ja galaktoosiksi (galaktolipidit) tai glyseroliksi ja fosfaattiryhmäksi (fosfolipidit). Väkirehujen esteröityneet lipidit ovat pääasiassa triasyyliglyseroleja ja karkearehujen fosfo- ja galaktolipidejä (Drackley 2004 s.100). Pötsimikrobit käyttävät glyserolin ja galaktoosin energialähteenään haihtuviksi rasvahapoiksi eli VFA:ksi (volatile fatty acids) (Drackley 2004 s.100). Pötsimikrobit voivat liittää vapaiden tyydyttymättömien rasvahappojen kaksoissidoksiin vetyä, jolloin kaksoissidos pelkistyy ja rasvahappo tyydyttyy. Tyydyttymättömät rasvahapot voivat myös isomeroitua (Drackley 2004 s.100). Rehun öljyhaposta (*cis*-9 18:1) 11- 80 %, 18:2n-6:sta 61- 94 % ja 18:3n-3:sta 79 – 98 % tyydyttyy pötsissä (Halmemies-Beauchet-Filleau 2013). Vapaat rasvahapot muodostavat rehuartikkelien kanssa liukenemattomia komplekseja (Drackley 2004 s.101). Rasvahapot muuttuvat liukoisiksi eli misellöityvät ohutsuolen alkuosan happamissa olosuhteissa sappihappojen vaikutuksesta (Drackley 2004 s.101). Ne imeytyvät ohutsuolen seinämän kautta imunesteeseen ja esteröityvät mono-, di- ja triglyserideiksi (Sjaastad 2010 s. 607). Verenkierrossa triglyseridit kulkevat lipoproteiineina maitorauhaseen tai kudoksiin (Drackley 2004 s.101). Maitorauhasessa niitä sekä plasman vapaita rasvahappoja käytetään maitorasvan muodostukseen (Sjaastad 2010 s.750). Maitorasvasta noin 50 % eli kaikki pitkäketjuiset rasvahapot ($C \geq 18$) ja noin puolet C16 rasvahapoista ovat peräisin verenkierrosta otettavista rasvahapoista (Shingfield ym. 2010). Pötsikäymisestä peräisin olevista etikka- ja β -hydroksivoihaposta muodostuu maitorauhasen de novo-synteesissä toinen 50 % maidon rasvahapoista (Shingfield ym. 2010). Maitorasvan lyhyt- ja keskipitkäketjuiset rasvahapot ovat peräisin de novo-synteesistä (Shingfield ym. 2010). Maitorauhanen pysyy myös desaturoimaan rasvahappoja, jolloin niihin lisätään *cis*-9-kaksoissidos (Sjaastad 2010 s. 750). Lockin ja Shingfieldin (2004 s. 159) mukaan maidon rasvahapoista on tyypillisesti tyydyttyneitä 70 – 75 %, kertatyydyttymättömiä 20-25 % ja monityydyttymättömiä 0-5 %.

Härkäpapusäilörehun rasvahappokoostumuksesta ja sen vaikutuksesta maidon rasvahappokoostumukseen löytyy hyvin vähän tutkimustietoa. Rehutaulukon (Luke 2015) mukaan härkäpapusäilörehu sisältää raakarasvaa 55 g/kg ka, mikä sisältää myös rehun

käymisessä syntyvät lyhytketjuiset haihtuvat rasvahapot. Arbaouin ym. (2007) mukaan suurin osa härkäpavun rasvahapoista oli 18:3n-3:a. Sirkkalehdissä 18:3n-3:a on noin 50 % ja varressa 30 % kaikista rasvahapoista. Varressa oli enemmän 18:2n-6:a ja 16:0:a kuin lehdissä. Akpinarin ym. (2001) mukaan härkäpavun siemenen kokonaisrasvapitoisuus oli 39 g/kg ja siemenestä puristetussa öljyssä oli 40 % tyydyttyneitä rasvahappoja ja 60 % tyydyttymättömiä rasvahappoja. Grelan ja Günterin (1995) tutkimuksen mukaan härkäpavun siemenessä oli 18:2n-6:a 31 %, 16:0:a 19 % ja *cis*-9 18:1:a 18 % rasvahapoista. 16:0:a ja 18:3n-3:a oli kumpaakin vähemmän kuin 5 % rasvahapoista. Luken (2015) rehutaulukoiden mukaan vehnän jyvän raakarasvapitoisuus on 22 g/kg ka. Welchin (1974) tutkimuksessa kahden kevätvehnäajikkeen koko jyvän kokonaisrasvahappopitoisuus oli keskimäärin 26 g/kg. Kevätvehnän jyvässä oli eniten 18:2n-6:a (60 % rasvahapoista). 16:0:a oli 19 ja *cis* 9 18:1:a 17 % rasvahapoista. Muiden rasvahappojen osuus oli kunkin alle 5 % rasvahapoista.

Kuoppalan ym. (2014b) mukaan härkäpavun palkojen, lehtien ja varsien osuudet kasvustossa vaihtelevat korjuuhetken mukaan. Kun säilörehu korjattiin 14.8.2013, lehtien osuus oli 38 %, palkojen 12 % ja varsien 50 %. Korjuupäivinä 27.8.2013 ja 11.9.2013 vastaavat osuudet olivat: lehdet 29 ja 15 %, palot 27 ja 41 % ja varret 44 ja 44 %. Palot sisälsivät kuoret ja niiden sisällä olevat siemenet. Kuoppalan (2014b) mukaan härkäpapu kannattaa korjata säilörehuksi, kun palot ovat saavuttaneet täyden kokonsa ja täyttyneet sekä lehtimassa on vielä vihreää.

Härkäpapua yleisemmin käytössä olevien nurmipalkokasvien tiedetään vaikuttavan ihmisravitsemuksen kannalta positiivisesti maidon rasvahappokoostumukseen. Kun nurmisäilörehua korvattiin puna-apila-, valkoapila- tai sinimaillassäilörehulla, tyydyttymättömien rasvahappojen, erityisesti 18:3n-3:n, pitoisuus maidossa lisääntyi (Dewhurst ym. 2003a, Vanhatalo ym. 2007, Halmemies-Beauchet-Filleau ym. 2014). Dewhurstin ym. (2003b) ja Halmemies-Beauchet-Filleaun (2013) mukaan 18:3n-3:n siirtotehokkuus rehusta maitoon on suurempi nurmipalkokasvisäilörehuista kuin nurmisäilörehuista. Osa rasvahapoista ei mahdollisesti ehdi biohydrogenoitua eli tyydyttyä pötsissä, koska palkokasvien virtausnopeus on suurempi (Dewhurst ym. 2003a, Halmemies-Beauchet-Filleau 2013). Dewhurstin ym. (2003a), Huwsin ym. (2010) ja Halmemies-Beauchet-Filleaun (2013) mukaan palkokasveja syötettäessä pötsin mikrobilajistossa tapahtuu mahdollisesti muutoksia. Lisäksi puna-apilan polyfenolioksidaasi (PPO) vähentää mahdollisesti lipolyysiä pötsissä (Dewhurst ym. 2003a, Halmemies-Beauchet-Filleau 2013).

Kasvuston rasvahappopitoisuus ja 18:3n-3:n osuus rasvahapoista pienenee kasvuston vanhetessa (Elgersma ym. 2005, Koivunen ym. 2015, Vanhatalo ym. 2007). Sadon korjuuajankohta ja käsittely- ja säilöntämenetelmät vaikuttavat myös rehun rasvahappopitoisuuteen. Halmemies-Beauchet-Filleau (2013) totesi, että heinäkasvin kuivaaminen vähensi etenkin 18:2n-6:n ja 18:3n-3:n pitoisuutta. Jos esikuivatusaika on lyhyt, tyydyttymättömien rasvahappojen hapettuminen on vähäistä. Lipolyysi on kuitenkin voimakasta säilönnän aikana sekä heinässä että säilörehussa (Halmemies-Beauchet-Filleau 2013).

Chenin ym. (2008) tutkimuksessa rypsirehun kokonaisrasvapitoisuus oli 41 %. Tyydyttymättömiä rasvahappoja oli 94 % ja tyydyttyneitä 6 % rasvahapoista. *Cis-9* 18:1:n osuus rasvahapoista oli 58 %, 18:2n-6:n 19 % ja 18:3n-3:n 14 %. Tyydyttyneistä rasvahapoista oli eniten 16:0:a (3,7 % rasvahapoista). Rypsirehu on lisännyt pitkäketjuisten, tyydyttymättömien (etenkin *cis-9* 18:1:n) rasvahappojen osuutta ja vähentänyt keskipitkäketjuisten tyydyttyneiden rasvahappojen osuutta maitorasvassa (Collomb ym. 2004, Chen ym. 2008, Kairenius ym.2008).

1.3 Typen hyväksikäyttö

Huhtasen ym. (2008) meta-analyysin mukaan lypsylehmien typen hyväksikäytön tehokkuus riippuu rehuannoksen raakavalkuaispitoisuudesta. Typen hyväksikäyttö huononee, kun dieetin raakavalkuaistaso nousee. Huhtasen ym. (2008) mukaan tehokkain strategia typen hyväksikäytön parantamiseen sekä lannan ja virtsan kautta tapahtuvien typpipäästöjen vähentämiseen on dieetin raakavalkuaispitoisuuden rajoittaminen ja etenkin ylimääräisen pötsissä hajoavan valkuaisen välttäminen.

Nurmipalkokasvisäilörehujen suuri raakavalkuaispitoisuus huonontaa typen hyväksikäyttöä (Bertilsson ym. 2001). Raakavalkuaistaso laskee ja typen hyväksikäyttö paranee, kun nurmipalkokasveja viljellään nurmiheinäkasvien kanssa seoskasvustoina tai valmistetaan seos syöttövaiheessa. Kuoppalan ym. (2009) ja Halmemies-Beauchet-Filleaun ym. (2014) tutkimuksessa kuiva-aineen syönti oli suurempi, kun puna-apilaa ja nurmiheinäkasvia syötettiin seoksena (säilörehuseoksen kuiva-aineesta 40-60 % puna-apilaa) kuin puhtaana puna-apila- tai nurmiheinäkasvisäilörehuna.

Puhtaassa härkäpapusäilörehussa oli suurempi raakavalkuaispitoisuus verrattuna nurmi-palkokasvisäilöhuseokseen (201 vs. 161 g/ kg ka) (McKnight ja MacLeod 1977). Pötsinesteen ammoniakki-N:n pitoisuus oli suurempi, kun säilörehu oli nurmi-palkokasviseosta kuin härkäpapua, mutta plasman urea-N:n pitoisuudessa ei ollut eroa. Tämä saattoi johtua McKnightin ja MacLeodin (1977) mukaan siitä, että osa härkäpavun valkuaisesta ohitti pötsin hajoamatta ja suli vasta suolistossa. Nurmi-palkokasvisäilöhun valkuaisesta oli liukoista tyyppiä 53 % ja härkäpavun valkuaisesta 37 %.

Mustafa ja Seguin (2003) vertailivat tutkimuksessaan härkäpapu-, herne- ja soijasäilörehuja. Härkäpapusäilörehussa oli suurempi raakavalkuaispitoisuus (222 g/kg ka) verrattuna hernesäilörehuun (178 g/kg ka) ja soijasäilörehuun (197 g/kg ka). Raakavalkuaisen todellinen *in situ* pötsisulavuus oli härkäpapusäilörehussa 80 %, hernesäilörehussa 84 % ja soijasäilörehussa 84 %.

Härkäpavun ja viljan seosviljely vähentää raakavalkuaispitoisuutta. Kuoppalan ym. (2014b) tutkimuksessa härkäpapu-kevätheinäkasvuston raakavalkuaispitoisuus oli ennen korjuuta keskimäärin 179 g/kg ka. Valmiin härkäpapu-kevätheinäsäilöhun raakavalkuaispitoisuus oli 157 g/kg ka. Kuoppalan ym. (2014b) mukaan raakavalkuaispitoisuuden väheneminen johtui todennäköisesti suurista puristenestetappioista.

Rehutaulukon (Luke 2015) mukaan rypsirouhe sisältää raakavalkuaista 379 g/kg ka ja sen hajoamattoman valkuaisen osuus (HVO) on 0,63. Huhtasen ym. (2011) review-artikkelin ja meta-analyysin mukaan rypsi on vähintään yhtä hyvä täydennysvalkuaisen lähde kuin soija. Rypsi soveltuu hyvin täydentämään nurmi- ja palkokasvisäilörehuruokintaa.

Kun nurmiheinäkasvi- tai nurmipalkokasvisäilörehuun pohjautuvaa ruokintaa täydennetään rypsirouheella, kuiva-aineen syönti, dieetin sulavuus, aminohappojen saanti ja maitotuotos suurenevät, mutta typen hyväksikäyttö huononee (Rinne ym. 2015). Ruokinnassa, jossa valkuais täydennys oli 2,9 kg ka/vrk, maidontuotanto oli vain 8 % suurempi verrattuna ruokintaan ilman valkuais täydennystä. Koska valkuaisrehu on kallista ja jos on käytettävissä hyvälaatuisia perusrehuja, valkuais täydennyksen tarpeellisuus on arvioitava huolellisesti ympäristö- ja talousnäkökulmat huomioiden (Rinne ym. 2015). Palmion ym. (2016) tutkimuksessa paras typen hyväksikäyttö maidontuotantoon saavutet-

tiin hyvälaatuisen nurmisäilörehun, ohran ja kivennäisen seoksella, kun ruokinta ei sisältänyt ollenkaan rypsiä. Vertailuruokintoina olivat hyvälaatuisen nurmisäilörehun, ohran, rypsirouheen ja kivennäisen seos sekä nurmi-härkäpapusäilörehun, ohran ja kivennäisen seos.

1.4 Tutkimuksen tavoite

Tämä tutkimus on osa Helsingin yliopiston Kestävä tehokkuus –hanketta. Osa tutkimuksen tuloksista on esitetty toisessa maisterintutkielmassa (Termonen 2015).

Tämän tutkielman tavoitteena oli selvittää härkäpapu-kevätvehnäkookoviljasäilörehun ja ruokinnan rypsitäydennyksen määrän vaikutusta typen hyväksikäyttöön, maidon tuotantoon ja maidon pitoisuuksiin. Nurmisäilörehuun pohjautuvaa ruokintaa verrattiin härkäpapu-kevätvehnä-nurmisäilörehuruokintaan, jossa puolet nurmisäilörehun kuiva-aineesta korvattiin härkäpapu-kevätvehnäsäilörehulla. Maidon pitoisuuksissa keskityttiin erityisesti maidon rasvahappokoostumukseen. Tutkimuksen hypoteesit olivat: lypsylehmien tyydyttymättömien rasvahappojen siirtotehokkuus rehusta maitoon on suurempi, kun karkearehussa on härkäpapu-kevätvehnäsäilörehua kuin karkearehun ollessa puhdasta nurmisäilörehua ja rypsirouheen annostason nosto huonontaa rehutypen hyväksikäyttöä maitovalkuaiseksi.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Koejärjestelyt

2.1.1 Koe-eläimet ja koeasetelma

Ruokintakoe toteutettiin Helsingin yliopiston opetus- ja tutkimustilan navetassa Viikissä 1.2. – 26.4.2014. Koe-eläiminä oli kahdeksan (4 pötsifistelöityä ja 4 fistelöimätöntä) ayrshire-rotuista lypsylehmää. Ne olivat poikineet vähintään kaksi kertaa ja viimeisimmästä poikimisesta oli keskimäärin 100 päivää (keskihajonta 23,4 päivää). Kokeen alkaessa lehmien keskimääräinen maitotuotos oli 45,6 kg/vrk keskihajonnan ollessa 2,57 kg. Lehmien elopaino oli keskimäärin 706 kg (keskihajonta 57,1 kg), kun koe alkoi ja 717 kg (keskihajonta 57,6 kg) kokeen päättyessä. Kuntoluokaltaan lehmät olivat kokeen alkaessa 3,1 (keskihajonta 0,35) ja kokeen päättyessä 3,0 (keskihajonta 0,40). Lehmät olivat kytkettyinä parteen ruokintakokeen ajan.

Ruokintakokeen malli oli kaksinkertainen 4 x 4 latinalainen neliö ja asetelma oli 2x2 faktoriaalinen. Neliö 1:n lehmät olivat pötsifistelöityjä ja neliö 2:n fistelöimättömiä. Koekäsittelyinä olivat kaksi erilaista karkearehua ja kaksi eri väkirehutäydennyksen raakavalkuaispitoisuutta. Karkearehuvaihtoehtoina olivat nurmisäilörehu ja härkäpapu-kevätehnä-nurmisäilöhuseos. Väkirehutäydennyksen raakavalkuaispitoisuudet olivat joko 175 tai 200 g /kg ka (taulukko 1.).

Taulukko 1. Koekaavio.

Jakso	Neliö 1 (pötsifistelöidyt)				Neliö 2 (fistelöimättömät)			
	Lehmä 1	Lehmä 2	Lehmä 3	Lehmä 4	Lehmä 5	Lehmä 6	Lehmä 7	Lehmä 8
I	Nurmi RV175	Nurmi RV200	Hp+nurmi RV175	Hp+nurmi RV200	Nurmi RV175	Nurmi RV200	Hp+nurmi RV175	Hp+nurmi RV200
II	Nurmi RV200	Hp+nurmi RV175	Hp+nurmi RV200	Nurmi RV175	Nurmi RV200	Hp+nurmi RV175	Hp+nurmi RV200	Nurmi RV175
III	Hp+nurmi RV200	Nurmi RV175	Nurmi RV200	Hp+nurmi RV175	Hp+nurmi RV200	Nurmi RV175	Nurmi RV200	Hp+nurmi RV175
IV	Hp+nurmi RV175	Hp+nurmi RV200	Nurmi RV175	Nurmi RV200	Hp+nurmi RV175	Hp+nurmi RV200	Nurmi RV175	Nurmi RV200

Nurmi = timotei-nurminatasäilörehu, Hp+nurmi = härkäpapu-kevätehnäsäilöhun ja nurmisäilöhun seos 1:1 kuiva-aineessa, RV175 = väkirehun raakavalkuaispitoisuus 175 g/kg ka, RV200 = väkirehun raakavalkuaispitoisuus 200 g/kg ka.

Kokeessa oli neljä jaksoa, joista kukin kesti 21 vrk. Viimeisen jakson pituus oli 20 vrk. Jaksojen alussa oli kahden viikon totutuskausi ja jaksojen viimeinen viikko oli varsinaista keruukautta, joiden perusteella laskettiin tutkimuksen tulokset.

2.1.2 Rehut ja ruokinta

Kokeen nurmisäilörehu oli esikuivattua (5 - 6 h), ensimmäisen sadon timotei-nurminatasäilöhun (*Phleum pratense* ja *Festuca pratensis*), joka korjattiin 10. – 11.6.2013. Korjuukalustona käytettiin niittomurskainta (Krone EasyCut 3210 CV, Maschinenfabrik Bernard Krone GmbH, Spelle, Saksa) ja noukinvaunua (Krone XXL R/GL, Maschinenfabrik Bernard Krone GmbH, Spelle, Saksa). Muurahaihappopohjaisista säilöntäainetta (AIV2 Plus®, Kemira Oyj, Oulu, Suomi) käytettiin 7 litraa tuorerehutonnia kohden. Säilöntäaine sisälsi 760 g/kg muurahaihappoa ja 55,0 g/kg ammoniumformiaattia. Varastoimispaikkana oli laakasiilo. Rehun levittämiseen ja tiivistämiseen käytettiin laakasiilossa kurottajaa (Merlo Panoramic, Merlo S.p.A. Industria Metalmeccanica, Cuneo, Italia). Osa rehusta korjattiin paalaimella (Welger RP 235, Welger Ma-

schinenfabrik GmbH, Wolfenbüttel, Saksa). Paaliin korjattu nurmisäilörehu oli käytössä viimeisellä koejaksolla.

Toinen kokeen karkearehuvaihtoehdoista oli edellä mainitun nurmisäilörehun ja härkäpapu-keväthevnäsäilörehun (*Vicia faba* ja *Triticum aestivum*) seos. Seoksen kuiva-aineesta 50 % oli peräisin härkäpapu-keväthevnäsäilörehusta.

Härkäpapu-keväthevnäkasvusto oli perustettu keväällä 2013. Härkäpavun siemen (lajike: Kontu, Boreal 2014, Jokioinen, Suomi) kylvettiin 22.5.2013 ja kevätheinä (lajike: Marble, Boreal 2014, Jokioinen, Suomi) noin viikkoa myöhemmin 28.5.2013. Härkäpavun kylvömäärä oli 200 kg/ha, mikä vastaa 70 % täystiheydestä. Keväthevän kylvömäärä oli 30 % täystiheydestä eli 94 kg/ha. Lannoituksena käytettiin karjanlantaa, joka oli levitetty lohkolle syksyllä 2012 ja Suomen salpietaria (Yara, Siilinjärvi, Suomi) kylvön yhteydessä. Lannoituksen mukana tyypeä annettiin yhteensä 45 kg/ha.

Härkäpapu-keväthevnäkasvuston korjaaminen aloitettiin, kun härkäpavun kylvöstä oli kulunut 75 vrk ja kevätheinä oli taikinatulementumisasteella. Kasvuston tuleentumisaste määritettiin BBCH – kehityssteluokituksella (Meier 2001). Härkäpapu oli osittain pallojen muodostumisen alkuvaiheessa ja osittain loppuvaiheessa. Palot olivat täytyneet, ne olivat vielä täysin vihreitä ja pääosa paloista oli jo saavuttanut täyden pituutensa. Esikuivausaika oli n. 30 tuntia. Härkäpapu-keväthevnäsäilörehu korjattiin laakasiiloon samalla niittomurskain-noukinvaunu-kurottajakalustolla kuin nurmisäilörehu käyttäen samaa säilöntäainetta ja sen annostelutasoa.

Härkäpapu-kevätilja-nurmisäilörehuseos sekoitettiin seosrehusekoittimella (CutMix, Pellon Group, Ylihärmä, Suomi) kolme kertaa viikossa. Myös nurmisäilörehu käsiteltiin sekoittimessa. Sekoitettut karkearehut säilytettiin rehukylmiössä rehukärryissä ruokintaan saakka.

Kokeessa käytettävät väkirehut olivat teollisesti valmistettuja ja pelletöityjä. Väkirehu yhdistettiin kahdesta rehusta: Perusrehusta ja Rypsirehusta. Väkirehun kokonaisuus oli 13 kg/vrk ilma-kuivaa rehua kaikissa koeruokintavaihtoehdoissa. Väkirehun raaka-alkuaistaso oli 175 g/kg ka (matala), kun se sisälsi Rypsirehua 4 kg ja Perusrehua 9 kg (RV175). Rypsiroouheen osuus oli tällöin 2 kg. Väkirehun raaka-alkuaistaso oli 200 g/kg ka (korkea), kun väkirehuannoksessa oli Rypsirehua 7 kg ja Perusrehua 6 kg (RV200).

Rypsirouhkan osuus oli 3,5 kg. Väkirehuseoksissa käytettyjen rehukomponenttien suhteelliset osuudet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Väkirehuseoskomponenttien suhteelliset osuudet eri valkuaistasoilla (ilma-kuivana).

	RV175	RV200
	%	%
Rypsi	15,4	26,9
Vehnä	19,3	16,5
Kaura	19,3	16,5
Ohra	19,3	16,5
Melassileike	19,7	16,8
Seosmelassi	3,77	3,54
Rypsiöljy	0,500	0,500
Kalsiumkarbonaatti	0,923	0,769
Magnesiumoksidi	0,377	0,315
Natriumvetykarbonaatti	0,400	0,400
Natriumkloridi	0,431	0,454
Nauta hivenaineseos	0,254	0,254
Nauta vitamiiniseos	0,200	0,200
Nauta biotiiniseos	0,200	0,200
Yhteensä	100	100

Lehmille jaettiin säilörehuja niin, että tähdettä jäi vähintään 5 % annetusta määrästä. Säilörehun jako oli kolme kertaa päivässä: klo 8 – 9, klo 14 ja klo 18 – 20. Säilörehu jaettiin RIC – vaakakuppeihin (Rouhage Intake Control, Insentec, Marknesse, Alankomaat). Aamulla ennen ensimmäistä säilörehun jakoa kupeista poistettiin tähteeksi jäänyt rehu. Päivän myöhemmissä jaoissa uutta rehua lisättiin edellisen päälle.

Väkirehun jakokeroja oli neljä: klo 6, 11, 17 ja 19.30. Väkirehun kerta-annos oli 3,25 kg ja se jaettiin erillisiin väkirehukuppeihin, jotka oli asennettu vaakakuppeihin.

2.2 Mittaukset

2.2.1 Maitotuotos

Lehmät lypsettiin kaksi kertaa päivässä putkilypsykoneella (DeLaval, Tumba, Ruotsi). Aamulypsy alkoi klo 6.15 ja iltalypsy klo 17.00. Maitomäärän mittaamiseen käytettiin erillisiä lypsylaitteistoon yhdistettäviä maitomittareita (WB Auto Sampler, Tru-Test,

Auckland, Uusi-Seelanti). Maitomäärä mitattiin jokaisella lypsykerralla koko kokeen ajan.

2.2.2 Kuntoluokka ja elopaino

Lehmien kuntoluokka arvioitiin asteikolla yhdestä viiteen 0,25 pisteen tarkkuudella (Edmonson ym. 1998). Kussakin lehmässä oli kahdeksan arvioitavaa kohtaa, joiden pisteistä laskettiin keskiarvo. Kaksi henkilöä kuntoluokittivat kaikki lehmät, kun koe alkoi ja kun se päättyi. Kuntoluokittajien pisteytyksistä laskettiin kullekin lehmälle keskiarvo kokeen alussa ja lopussa.

Lehmät punnittiin eläinvaa'alla ennen kokeen aloittamista ja kokeen päätyttyä kahtena peräkkäisenä päivänä. Punnitustuloksista laskettiin kullekin lehmälle keskiarvo kokeen alussa ja lopussa.

2.2.3 Rehunkulutus

Vaakakuppien rehumäärä kirjattiin ylös joka päivä ennen säilörehunjakoja ja sen jälkeen. Syömättä jäänyt rehumäärä kirjattiin ylös ennen päivän ensimmäistä säilörehun jakoa. Tällöin punnittiin ja kirjattiin ylös myös väkirehukuppeihin jäänyt väkirehun tähde. Päivittäinen lehmäkohtainen rehunkulutus laskettiin vähentämällä kuppeihin jaetuista rehumääristä tähteiden määrä.

2.3 Näytteenotto

2.3.1 Rehunäytteet

Säilörehuista otettiin näyte kuiva-ainepitoisuus- ja pH-määrittystä varten kunkin jakson ensimmäisellä viikolla kerran, toisella viikolla kaksi kertaa ja kolmannella viikolla kolme kertaa. Nurmisäilörehunäytteet kerättiin seosrehuvaunun hihnalta rehun oton yhteydessä ja härkäpapu-kevätehnäsäilörehunäytteet siilolla rehun leikkuupinnasta.

Keruuviikoilla rehun jaon yhteydessä molemmista säilörehuista otettiin näyte (1 kg) kerran päivässä analyysijä varten, jossa määritettiin primäärinen ja sekundaarinen kuiva-aine, tuhka, raakavalkuainen, neutraalidetergenttikuitu (NDF, neutral detergent fiber) ja sulamaton NDF (iNDF, indigestible NDF), pelkistävät sokerit, haihtuvat rasvahapot, maitohappo, etanoli, ammoniumtyppi, *in vitro* – sellulaasisulavuus ja AIA (acid insoluble ash, happoon liukenematon tuhka) sekä pitkäketjuiset rasvahapot. Lisäksi härkäpa-

pu-kevätvehnäsäilörehusta ja nurmi-härkäpapu-kevätvehnäsäilörehuseoksesta määritettiin tärkkelys.

Molemmista väkirehuista kerättiin näytteet (n. 3 dl) päivittäin keruuviikoilla. Näytteistä määritettiin primäärinen kuiva-aine ja niistä kuivattiin analyysinäyte. Ensimmäisen ja toisen sekä kolmannen ja neljännen jakson näytteet yhdistettiin kahdeksi näytteeksi, joista määritettiin sekundäärinen kuiva-aine, tuhka, raakavalkuainen, HCl -rasva, NDF, AIA , tärkkelys ja pitkäketjuiset rasvahapot.

Rehunäytteet pakastettiin -20 °C:ssa jatkokäsittelyihin saakka.

2.3.2 Maitonäytteet

Maitonäytteet otettiin maitomittarin (TruTest, Auckland, Uusi-Seelanti) maitoputkesta yhden litran näytepulloon keruuviikoilla neljällä peräkkäisellä lypsykerralla (ma-ilta, ti-aamu, ti-ilta, ke-aamu). Maitonäyte sekoitettiin huolellisesti ja siitä otettiin peruskoostumusnäyte pikariin, jossa oli bronopoli-säilöntäainepilleri (Bronopol, Valio, Helsinki, Suomi). Maitonäytteestä pipetoitiin rasvahappomääritystä varten näytepulloon (100 ml) suhteellinen näyte. Rasvahappomääritysnäytteet kerättiin lehmäkohtaisesti samaan näytepulloon kaikilta neljältä lypsykerralta ja säilytettiin väliajat ja analysointiin saakka -20 °C lämpötilassa.

2.3.3 Pötsinestenäytteet

Keruuviikon keskiviikkona otettiin pötsinestenäytteet 1. neliön fistelilehmiltä juuri ennen aamuruokintaa (klo 6.00) ja sen jälkeen puolentoista tunnin välein klo 16.30 saakka. Näyte otettiin näytteenottolaitteella fistelin kautta imemällä alipainepumpulla lasipulloon. Sen jälkeen pötsineste suodatettiin yksinkertaisen harsokankaan läpi. Suodoksesta mitattiin pH. Suodoksesta otettiin alkueläinten laskentaa varten 10 ml:n osanäyte, johon lisättiin 30 ml 10 % (v/v) formaldehydiä laimennettuna fysiologiseen 0,9 % (W/v) suolaliuokseen. Alkueläinnäyte kerättiin päivän aikana lehmittäin samaan pulloon (500 ml). Näyte säilytettiin jääkaapissa. Haihtuvien rasvahappojen (etikka-, propioni-, voi-, iso-voi-, kaproni-, valeriaana- ja isovaleriaanahapot) määritystä varten näytepulloon (25 ml) pipetoitiin 0,5 ml kyllästettyä elohopeakloridia, 2 ml 1 N NaOH:a ja 5 ml pötsinestettä, jonka jälkeen näyte pakastettiin -20 °C:ssa. Ammoniumtyypen määritystä varten 25 ml:n näytepulloon pipetoitiin 0,3 ml 50 % H₂SO₄ ja 15 ml pötsinestesuodosta. Tämän jälkeen näyte pakastettiin -20 °C:ssa.

2.3.4 Sontanäytteet

Sontanäytteet (3 dl) kerättiin kaikilta lehmillä keruuviikoilla viitenä peräkkäisenä päivänä (ma – pe) aamulla klo 8 - 9 ja iltapäivällä klo 18 -19 suoraan peräsuolesta. Näytteitä kerättiin lehmäkohtaisiin astioihin, joita säilytettiin pakastimessa. Keruujaksojen jälkeen näytteet sulatettiin, sekoitettiin ja otettiin näyte kuiva-aine- ja typpimääritystä varten sekä analyysinäyte, josta määritettiin sekundäärinen kuiva-aine, tuhka, NDF, tärkkelys, AIA ja iNDF.

2.3.5 Virtsanäytteet

Virtsaa (500 ml/kerta/lehmä) kerättiin keruuastioihin kaikilta lehmillä keruuviikon tiistaina ja keskiviikkona aamulla alkaen klo 8.00 ja iltapäivällä alkaen klo 15.30. Virtsa suodatettiin harsokankaan läpi ja 300 ml suodosta kaadettiin varovasti näytepulloihin, joihin oli lisätty 15 ml vahvaa rikkihappoa virtsan pH:n alentamiseksi alle 3:n. Osa virtsanäytteestä laimennettiin 1:10 tislattuun veteen ja laimennoksesta otettiin kolme 20 ml:n näytepullollista, joista määritettiin kreatiini, allantoiini, virtsahappo ja urea-N. Laimentamattomasta virtsasta otettiin näytepulloon (20 ml) näyte, josta määritettiin typpipitoisuus. Näytteet pakastettiin -20 °C:ssa.

2.4 Näytteiden käsittely ja analysointi

Rehu-, sonta-, virtsa- ja pötsinäytteet sekä rehujen ja maidon rasvahappokoostumusnäytteet analysoitiin Helsingin yliopiston maataloustieteiden laitoksen kotieläintieteen laboratoriossa. Maidon peruskoostumusnäyte analysoitiin Valio Oy:n Seinäjoen aluelaboratoriossa.

Pakastetut rehu- ja sontanäytteet sulatettiin ja yhdistettiin keruuviikoittain. Primäärinen kuiva-aine määritettiin kuivaamalla rehu- ja sontanäytteitä lämpökaapissa 103 °C:ssa vuorokauden. Muita määrittäviä varten kuivattiin analyysinäytteet lämpökaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Schwabach, Saksa) 103 °C:ssa tunnin ajan ja sen jälkeen rehunäytteet 50 °C:ssa ja sontanäytteet 70 °C:ssa kahden vuorokauden ajan. Kuivaamisen jälkeen rehunäytteet jauhettiin vasaramyllyllä (Sakomylly KT-3100, Koneteollisuus Oy, Helsinki, Suomi) 1 mm:n seulalla ja sontanäytteet 1,5 mm:n seulalla. Analyysinäytteistä määritettiin sekundäärinen kuiva-aine pitämällä näytettä lämpökaapissa 103 °C:ssa 17 tuntia. Tuhkapitoisuus määritettiin polttamalla analyysinäytettä 600 °C:ssa 20 – 24 h muhveliuunissa (Heraeus Thermicon T, Heraeus, Hanau, Saksa), jolloin jäljelle

jäi epäorgaaninen tuhka. Happon liukenematon tuhka määritettiin Van Keulenin ja Youngin mukaan (1977). NDF määritettiin kuuma- ja kylmäuuttolaitteella (Tecator Fibertec System 1020/1021, Foss, Hillerød, Tanska) Van Soestin ym. (1991) mukaan ja iNDF 12 vuorokauden nailonpussipötsiuitolla kahdella lehmällä (Ahvenjärvi ym. 2000). Tärkkelys määritettiin Salon ja Salmen (1968) kuvaaman menetelmän mukaan. Säilörehun orgaanisen aineen *in vitro* -sulavuus määritettiin muunnettua (Nousiainen 2003) sellulaasi-pepsiinimenetelmää (Friedel 1990) käyttäen. Suomalaisia *in vivo*-sulavuuskokeisiin perustuvia korjausyhtälöitä (Huhtanen ym. 2006) käytettiin, kun sellulaasi-pepsiinimenetelmän tulokset muunnettiin *in vivo* -sulavuutta vastaaviksi. Sulavan orgaanisen aineen pitoisuus kuiva-aineessa (D-arvo) laskettiin *in vitro* -sulavuuden perusteella.

Navetan laboratoriossa määritettiin pH säilörehunäytteestä puristetusta nesteestä ja pötsinesteestä heti näytteenoton jälkeen pH-mittarilla (S20 SevenEasy™ pH, Mettler-Toledo Ltd, Leicester, Iso-Britannia). Säilörehujen pelkistävät sokerit eli vesiliukoiset hiilihydraatit määritettiin spektrofotometrillä (Shimadzu UV mini 1240, Shimadzu Europa GmbH, Duisburg, Saksa) Somogyin (1945) ja Salon (1965) mukaan. Säilörehuista määritettiin maitohappo kolorimetrisellä menetelmällä (Barker ja Summerson 1941) ja etanoli entsymaattisesti käyttäen entsyymikittiä (cat. No 176290, Boehringer, Mannheim, Saksa).

Säilörehun ja sonnan sekä virtsan kokonaistyyppipitoisuus analysoitiin Kjeldahl-menetelmällä (AOAC 1995) käyttäen Tecator-polttolaitetta (Tecator Digestion Auto, Tecator Scubber, Foss, Hillerød, Tanska) ja tislau- ja titrauslaitteistoa (FOSS Kjeltex Auto 2300, Foss, Hillerød, Tanska). Virtsan, pötsinesteen ja säilörehun ammoniakki-typpi määritettiin kolorimetrisellä menetelmällä McCulloughin (1967) esittelemän menetelmän mukaan. Virtsan urea-typpi määritettiin kolometrisellä menetelmällä käyttäen entsyymikittiä (nro 10505, Human Gesellschaft, Wiesbaden, Saksa). Virtsan puriinijohdannaiset allantoniini, kreatiini ja virtsahappo määritettiin nestekromatografisesti UPLC-menetelmällä (Ultra Performance Liquid Chromatography, Waters Acquity UPLC, Waters, Milford, MA, Yhdysvallat) Georgen ym. (2006) menetelmän mukaan.

Rehujen kokonaisrasvapitoisuus määritettiin petroolieetteriuutolla HCl-hydrolyysin (Hydrolysis Unit, FOSS Soxtec 8000, FOSS Analytical, Hilleroed, Tanska) jälkeen.

Säilörehujen sekä pötsinesteen haihtuvat rasvahapot määritettiin nestegromatografilla (Waters Acquity UPLC, Waters, Milford, MA, Yhdysvallat).

Rasvahappomäärittelyksiä varten rehunäytteet kylmäkuivattiin (Christ, Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Osterode am Harz, Saksa), jauhettiin 1 mm:n seulalla KT-sakomylyllä ja säilytettiin – 80 °C:ssa. Rehujen ja maidon rasvahapot määritettiin liekki-ionisaattorilla varustetulla kaasukromatografilla (GC; model Shimadzu QP2010, Shimadzu, Kyoto, Japan) Stammin (2015) kuvaaman menetelmän mukaan. Kaasukromatografissa käytetyn silikonisen kapillaarikolonnin (pituus 100 m, halkaisija 0,25 mm) sisäpinta oli päällystetty 0.2 µm syaanipropyli-polysiloksaanikalvolla (CP-SIL 88, Agilent J&W, Santa Clara, Kanada) ja kantajakaasuna käytettiin heliumia. Piikit tunnistettiin kaasukromatogrammeista vertaamalla niiden retentioaikoja standardien (GLC463, Nu-Chek Prep, Elysian, MN; 10-2800-7, 10-2100-9, 10-2600-12, 21-1600-8, 21-1412-7, 21-1614-7, 21-141-7, 21-1615-7 Larodan, Malmö, Ruotsi) retentioaikoihin.

Alkueläinten määrä pötsinesteessä laskettiin mikroskooppia ja laskentakammiota (Fuchs-Rosenthal, Incyto, Korea) käyttäen. Maidon peruskoostumusnäytteet lähetettiin Valio Oy:n Seinäjoen aluelaboratorioon. Niistä määritettiin kuiva-aine, rasva, valkuainen, laktoosi, urea ja solut infrapuna-analysaattorilla (Milco Scan FT 6000, Foss, Hillerød, Tanska).

2.5 Tulosten laskenta ja tilastollinen analyysi

Tutkimustulokset tallennettiin ja käsiteltiin alustavasti Microsoftin Exceltaulukkolaskentaohjelmalla. Rehuarvot ja energiakorjattu maitotuotos (EKM) sekä ravintoaineiden saanneista muuntokelpoinen energia (ME), ohutsuolesta imeytyvä valkuainen (OIV) ja pötsin valkuaiastase (PVT) laskettiin Luonnonvarakeskuksen rehuvaluoiden (Luke 2015) laskentaohjeiden mukaan. Rehujen pdNDF-pitoisuus (g/kg ka) saatiin vähentämällä NDF-pitoisuudesta iNDF-pitoisuus (Huhtanen ym. 2007). Säilörehujen syönti-indeksit laskettiin Huhtasen ym. (2007) kaavan mukaan:

$$100 + 10 * [(D\text{-arvo} - 680) * 0,017 - (\text{käymishapot} - 80) * 0,0128 + (0,0198 * (Ka - 250) - 0,00002364 * (Ka^2 - 250^2)) - 0,44 * \text{jälkisatosäilörehun osuus} + 4,13 * \text{palkokasvin osuus} - 2,58 * \text{palkokasvin osuus}^2 + 5,90 * \text{kokoviljasäilörehun osuus} - 6,14 * \text{kokoviljasäilörehun osuus}^2 - 0,0023 * (\text{kuitu} - 550)].$$

Kaavassa D-arvo on rehun sulava orgaaninen aine (g/kg rehun kuiva-aine). Käymishapot ovat maitohapon ja haihtuvien rasvahappojen yhteismäärä (g/kg ka). Ka on säilörehun kuiva-ainepitoisuus (g/kg). Kuitu on säilörehun NDF (g/ kg ka). Jälkisato-, palkokasvi- ja kokoviljasäilörehujen osuus vaihtelee välillä 0 -1. Härkäpapekivätvehnäsäilörehun syönti-indeksin laskennassa huomioitiin kokoviljasäilörehun osuus.

Tulosten analysointiin käytettiin SAS-ohjelmiston (versio 9.4, SAS Institute Inc. Cary, NC) Mixed –proseduurin varianssianalyysiä. Mallissa oli mukana kiinteinä muuttujina neliö, jakso, koekäsittely ja neliön ja koekäsittelyn yhdysvaikutus sekä satunnaisena muuttujana eläin neliön sisällä. Mukana oli myös carry-over -tekijä testaamassa jälki-vaikutuksen esiintymistä. Pötsikäymisdata, lukuun ottamatta alkueläimien määrää, analysoitiin käyttämällä toistettujen havaintojen mallia, jossa oli edellä mainittujen muuttujien lisäksi mukana näyteaika sekä koekäsittelyn ja ajan yhdysvaikutus.

Ortogonaalisilla kontrasteilla testattiin säilörehun raaka-aineen ja väkirehun valkuaispitoisuuden vaikutusta sekä niiden yhdysvaikutusta. Mallin tuottamien residuaalien jakaumista tarkastettiin normaalisuus ja varianssien homogeenisuus.

Tulosten laskennassa jätettiin pois havainnot lehmältä 5 jaksolla 4 (Hp+nurmi ja RV175) ja lehmältä 2 jaksoilla 1 (Nurmi ja RV200) ja 2 (Hp+nurmi ja RV175) jalkavaivojen takia. Rasvahappojen 16:0, *trans*-3 16:1, 18:0, *cis*-9 18:1, *cis*-11 20:1 ja 18:3n-3 päivittäisistä saanneista (g/vrk) poistettiin yksi residuaaliltaan selvästi muista poikkeava havainto, jotta jakauma saatiin normaalijakautuneeksi. Tilastollisten tulosten raportoinnissa käytetään P-arvoja, joista P<0,001 on erittäin merkitsevä, P<0,01 on hyvin merkitsevä, P<0,05 on merkitsevä ja P<0,10 on suuntaa-antava.

3 TULOKSET

3.1. Rehujen kemiallinen koostumus ja säilörehujen säilönnällinen laatu

Kokeessa käytettyjen rehujen kemiallinen koostumus ja karkearehujen säilönnällinen laatu on esitetty taulukossa 3. Molemmat säilörehut olivat suomalaisten säilörehun laatu-kriteerien (Moisio ja Heikonen 1992) mukaan säilönnällisesti hyvälaatuisia. Ammoniumtypen osuus kokonaistypestä oli nurmisäilörehussa hieman suurempi kuin härkäpapekivätvehnäsäilörehussa (65,2 vs. 58,0 g/kg N). Nurmisäilörehun kuiva-aine oli 288

g/kg, härkäpapu-kevätehnäsäilörehun 389 g/kg ja niistä tehdyn seoksen 325 g/kg ka.
Taulukko 3. Rehujen kemiallinen koostumus, säilörehujen säilönnällinen laatu ja sulavuus sekä rehujen rehuarvot.

	Säilörehut			Väkirehut	
	Nurmi	Hp-vehnä	Hp+nurmi	RV175	RV200
Kuiva-aine, g/kg	288	389	325	872	872
Kuiva-aineessa, g/kg					
Tuhka	77,3	78	77,4	63,3	65,1
Raakavalkuainen	155	165	160	176	198
Kokonaisrasva				28,6	31,8
Tärkkelys	ea	115	65,2	343,0	315,0
NDF	517	433	477	211	219
iNDF	108	201	141	68,5	73,4
pdNDF	409	232	336	142,5	145,6
Sokeri	93,2	93,8	96,4		
Maitohappo	47,3	16,6	32,8		
Etikkahappo	11,6	5,60	8,71		
Propionihappo	0,090	0,108	0,082		
Voihappo	0,487	0,177	0,403		
Isovoihappo	0,085	0,031	0,070		
Valeriaanahappo	0,00	0,00	0,00		
Isovaleriaanahappo	0,00	0,00	0,00		
Kapronihappo	0,668	0,158	0,606		
Käymishapot yhteensä	60,3	22,6	42,7		
Haihtuvat rasvahapot yhteensä	13,0	6,10	9,90		
Etanoli	5,00	2,10	3,70		
pH	3,97	3,96	4,00		
Ammoniumtyppi g/kg N	65,2	58,0	58,7		
Säilörehujen sulavuus					
<i>In vitro</i> D-arvo, g/kg ka	678	611	642		
Rehuarvot					
ME, MJ/kg ka	10,8	9,75	10,3	12,4	12,3
OIV, g/kg ka	82,5	78,9	79,5	106	115
PVT, g/kg ka	32,4	65,8	42,1	8,1	27,6
Syönti-indeksi ¹	106	110	107		

Nurmi =timotei-nurminatasäilörehu, Hp-vehnä=härkäpapu-kevätehnäsäilörehu, jossa vehnän osuus 10 %, Hp+nurmi= härkäpapu-kevätehnäsäilörehu ja nurmisäilörehun seos, jossa seos-suhde 1:1 kuiva-aineessa. RV175=väkirehuseos, jossa valkuaispitoisuus175 g/kg ka, RV200=väkirehuseos, jossa väkirehun valkuaispitoisuus 200 g/kg ka. ea= ei analysoitu. NDF = neutraalidetergenttikuitu, iNDF = sulamaton NDF-kuitu, OA=orgaaninen aine, ME=muuntokelpoinen energia, OIV=ohutsuolesta imeytyvä valkuainen, PVT=pötsin valkuais-tase. Syönti-indeksi¹=Huhtanen ym. (2007), härkäpapu-kevätehnää sisältävien rehujen syönti-indeksin laskennassa kaavassa käytetty vain kokoviljan (vehnä) osuutta.

Kosteammassa nurmisäilörehussa käyminen oli ollut hieman voimakkaampaa kuin kui-
vemmassa härkäpapu-kevätehnäsäilörehussa. Käymishappojen kokonaismäärä oli
nurmisäilörehussa 60,3 g/kg ka, härkäpapu-kevätehnäsäilörehussa 22,6 g/kg ka ja

seoksessa 42,7 g/kg ka. Nurmisäilörehussa oli myös enemmän haihtuvia rasvahappoja ja etanolia kuin härkäpapu-kevätnäsäilörehussa. Molempien säilörehujen ja seoksen happamuus oli lähes sama (pH 3,96–4,00).

Nurmisäilörehun ja härkäpapu-kevätnäsäilörehun tuhka- ja sokeripitoisuudessa ei ollut eroa. Härkäpapu-kevätnäsäilörehu sisälsi enemmän raakavalkuaista, mutta vähemmän kuitua kuin nurmisäilörehu. Härkäpapu-kevätnäsäilörehun iNDF-pitoisuus oli selvästi suurempi kuin nurmisäilörehun (201 vs. 108 g/kg ka). Nurmisäilörehussa *in vitro* D-arvo ja energiapitoisuus (ME MJ/kg ka) olivat suuremmat kuin härkäpapu-kevätnäsäilörehussa, mutta härkäpapu-kevätnäsäilörehun syönti-indeksi oli parempi nurmisäilörehuun verrattuna.

Molemmissa väkirehuseoksissa oli kuiva-ainetta 872 g/kg. Raakavalkuaistason ollessa matala (175 g/kg ka) väkirehussa oli enemmän tärkkelystä kuin väkirehun raakavalkuaistason ollessa korkea (200 g/kg ka).

Rehujen rasvahapposisältö (g/kg ka) ja rasvahappokoostumus (g/100 g rasvahappoja) on esitetty taulukossa 4. Nurmisäilörehun sisältämien rasvahappojen kokonaismäärä oli 16,0 g/kg ka ja härkäpapu-kevätnäsäilörehun 9,11 g/kg ka. Niiden seoksessa rasvahappoja oli 13,2 g/kg ka. Kun väkirehun raakavalkuaistaso oli matala, se sisälsi hieman vähemmän rasvahappoja kuin väkirehun raakavalkuaistason ollessa korkea. Yksittäisistä rasvahapoista 16:0:n, *cis*-9 18:1:n, 18:2n-6:n ja 18:3n-3:n osuudet olivat suurimmat (g/100 g rasvahappoja) kaikissa rehuissa.

Nurmisäilörehun rasvahapoista 18:3n-3:n osuus oli yli 50 % (54 g/100 g) ja sitä oli kaksi kertaa enemmän kuin härkäpapu-kevätnäsäilörehussa (26 g/100 g). Härkäpapu-kevätnäsäilörehussa 18:2n-6:n osuus rasvahapoista oli kaksi kertaa suurempi kuin nurmisäilörehussa (34 vs. 16 g/100 g). 16:0:n osuus rasvahapoista oli hieman suurempi härkäpapu-kevätnäsäilörehussa kuin nurmisäilörehussa (19 vs. 17 g/100 g).

Väkirehujen välillä ei ollut suurta eroa rasvahappokoostumuksessa (g/100 g rasvahappoja). Säilörehuihin verrattuna väkirehuissa oli vähän 18:3n-3:a, mutta yli kolmannes *cis*-9 18:1-rasvahappoa, jota oli vastaavasti säilörehuissa vähän. Härkäpapu-kevätnäsäilörehussa 18:2n-6:n osuus rasvahapoista oli samaa suuruusluokkaa kuin väkirehuissa eli noin kolmannes, kun nurmisäilörehussa se oli selvästi pienempi.

Taulukko 4. Rehujen rasvahapposisältö.

	Säilörehut			Väkirehut	
	Nurmi	Härkäpapu-vehnä	Hp+nurmi	RV175	RV200
Rasvahapot, g / kg ka	16,0	9,11	13,2	24,2	26,4
Rasvahappokoostumus, g/ 100 g rasvahappoja					
16:0	17,4	19,3	18,2	14,0	13,2
<i>trans</i> -3 16:1	1,83	1,04	1,54	0,06	0,06
18:0	1,31	2,94	1,89	1,59	1,59
<i>cis</i> -9 18:1	3,52	8,04	5,30	36,3	37,1
<i>cis</i> -11 18:1	0,51	0,52	0,55	5,00	5,74
18:2n-6	16,3	34,2	22,7	33,8	32,6
20:0	0,49	1,69	0,90	0,38	0,40
18:3n-3	54,4	26,3	43,9	6,27	6,68
22:0	0,80	1,18	0,90	0,25	0,24
Muut	3,45	4,79	4,11	2,38	2,39
Yhteensä					
SFA	22,9	29,0	25,2	16,9	16,1
MUFA	6,22	10,1	7,87	42,8	44,5
PUFA	70,9	60,9	66,9	40,2	39,4

Nurmi = timotei-nurminatasäilörehu, Härkäpapu-vehnä=härkäpapu-kevävehnäsäilörehu, jossa vehnän osuus 10 %, Hp+nurmi = härkäpapu-kevävehnäsäilörehun ja nurmisäilörehun seos, jossa seossuhde 1:1 kuiva-aineessa. RV175 = väkirehuseos, jossa valkuaispitoisuus 175 g/kg ka, RV200 = väkirehuseos, jossa väkirehun valkuaispitoisuus 200 g/kg ka. SFA = tyydyttyneet rasvahapot, MUFA = kertatyydyttymättömät rasvahapot, PUFA = monityydyttymättömät rasvahapot.

Säilörehujen lipidit sisälsivät enemmän tyydyttyneitä (SFA, saturated fatty acid) ja monityydyttymättömiä (PUFA, polyunsaturated fatty acid)) rasvahappoja, mutta vähemmän kertatyydyttymättömiä (MUFA, monounsaturated fatty acid) rasvahappoja kuin väkirehujen lipidit.

3.2. Rehujen syönti ja ravintoaineiden saanti

Taulukossa 5 on esitetty kuiva-aineen syönnit ja ravintoaineiden saanti. Koeruokintojen väkirehun osuus oli noin 45 % kuiva-aineesta. Säilörehun kuiva-aineen syönneissä ja orgaanisen aineen saanneissa ei ollut merkitsevää ($P>0,10$) eroa eri säilörehujen ja väkirehun valkuaisasteiden välillä. Raakavalkuaisen saanti (g/pv) oli ($P<0,05$) suurempi, kun väkirehun raakavalkuuspitoisuus oli suurempi ja suuntaa-antavasti ($P<0,10$) suurempi, kun säilörehussa oli härkäpapu-kevävehnäsäilörehua verrattuna puhtaaseen nurmisäilörehuun. Ohutsuolesta imeytyvän valkuaisen saanti oli suuntaa-antavasti ($P<0,10$) suurempi korkeammalla väkirehun raakavalkuustasolla kuin matalammalla tasolla. Kun säilörehuna oli härkäpapu-kevävehnäsäilörehun ja nurmisäilörehun seos, PVT oli suu-

rempi ($P < 0,001$) kuin puhtaassa nurmisäilörehupohjaisessa ruokinnassa. Suurempi väkirehun raakavalkuaispitoisuus suurensi PVT:tä matalampaan väkirehun raakavalkuaispitoisuuteen verrattuna ($P < 0,001$).

Taulukko 5. Syönti ja ravintoaineiden saanti.

Säilörehu (SR) Valkuainen (VALK)	Nurmi		Hp+nurmi		SEM	Tilastollinen merkitsevyys		
	RV175	RV200	RV175	RV200		SR	VALK	SR vs VALK
Havaintoja	8	7	6	8				
Syönti								
Säilörehu, kg ka/vrk	13,6	13,9	14,5	13,7	0,48	0,466	0,529	0,261
Väkirehu, kg ka/vrk	11,3	11,3	11,3	11,3	0,00			
Yhteensä, kg ka/vrk	25,0	25,2	25,8	25,0	0,48	0,459	0,550	0,272
Väkirehun osuus %	45,5	45,1	44,0	45,4	0,89	0,489	0,488	0,271
Ravintoaineiden saanti								
OA, kg/vrk	23,2	23,4	23,9	23,2	0,45	0,447	0,518	0,273
RV, kg/vrk	4,11	4,36	4,31	4,44	0,073	0,058	0,014	0,353
NDF, kg/vrk	9,46	9,65	9,30	9,03	0,243	0,099	0,853	0,310
pdNDF, kg/vrk	7,21	7,38	6,55	6,28	0,199	<0,001	0,773	0,244
Tärkkelys, kg/vrk	3,89	3,59	4,81	4,45	0,040	<0,001	<0,001	0,431
ME, MJ/vrk	288	289	290	280	5,1	0,449	0,359	0,259
OIV, g/vrk	2329	2435	2356	2397	35,7	0,879	0,051	0,361
PVT, g/vrk	533	771	701	905	20,0	<0,001	<0,001	0,365
Rasvahapot g/vrk								
16:0*	76,4	78,1	72,9	73,9	0,76	<0,001	0,091	0,601
<i>trans</i> -3 16:1*	4,15	4,29	3,09	3,13	0,090	<0,001	0,261	0,519
18:0*	7,2	7,61	7,91	8,32	0,063	<0,001	<0,001	0,915
<i>cis</i> -9 18:1*	108	119	110	121	0,3	<0,001	<0,001	0,865
<i>cis</i> -11 18:1*	15,0	18,4	14,9	18,3	0,33	0,013	<0,001	0,887
18:2n-6	128	131	134	138	1,2	<0,001	0,008	0,563
20:0	2,08	2,18	2,70	2,80	0,048	<0,001	0,037	0,968
18:3n-3*	136	143	100	102	1,8	<0,001	0,023	0,190
22:0	2,40	2,49	2,40	2,35	0,061	0,227	0,647	0,208
Yhteensä								
SFA*	96,1	98,8	94,0	95,5	1,00	0,017	0,047	0,522
MUFA*	132	147	133	148	0,4	0,032	<0,001	0,708
PUFA*	265	275	236	239	3,7	<0,001	0,075	0,330
Yhteensä	493	522	463	487	3,2	<0,001	<0,001	0,440

Nurmi = timotei-nurminatasäilörehu, Hp+nurmi = härkäpapu-keväthevnäsäilörehun ja nurmisäilörehun seos 1:1 kuiva-aineessa, RV175 = väkirehun raakavalkuaispitoisuus 175 g/kg ka, RV200 = väkirehun raakavalkuaispitoisuus 200 g/kg ka, OA = orgaaninen aine, RV = raakavalkuainen, NDF = netraalidetergenttikuitu, pdNDF = potentiaalisesti sulava NDF, ME = muuntokelpoinen energia, OIV = ohutsuolesta imeytyvä valkuainen, PVT = pötsin valkuaisase, SFA = tyydyttyneet rasvahapot, MUFA = kertatyydyttymättömät rasvahapot, PUFA = monityyydyttymättömät rasvahapot, SEM = keskiarvon keskivirhe (suurin Hp+nurmi ja RV175). Nurmi ja RV175 = SEM kerrottava luvulla 0,778, Nurmi ja RV200 = SEM kerrottava luvulla 0,934 ja Hp+nurmi ja RV200 = SEM kerrottava luvulla 0,855. * = poistettu yksi residuaaliltaan poikkeava havainto.

Tärkkelyksen saanti lisääntyi, kun ruokinnan raakavalkuaistaso oli matala ja karkearehu oli härkäpapukevätvehnäsäilörehua ($P < 0,001$) verrattuna siihen, että ruokinnassa oli korkea väkirehutaso ja nurmisäilörehu. Neutraalidetergenttikuidun saanti (kg/pv) oli pienempi ($P < 0,10$) härkäpapu-kevätvehnäsäilörehua sisältäneissä ruokinnoissa kuin nurmisäilörehua sisältäneissä ruokinnoissa. Härkäpapu-kevätvehnäsäilörehua sisältävissä ruokinnoissa pdNDF:n määrä oli pienempi ($P < 0,001$) kuin nurmisäilörehuruokinnoissa. Energian saannissa eri koekäsittelyjen välillä ei ollut eroa ($P > 0,10$).

Rasvahappojen kokonaissaanti oli suurempi nurmisäilörehuruokinnoissa kuin härkäpapu-kevätvehnäruokinnoissa ja kun väkirehun raakavalkuaistaso oli korkea matalaan verrattuna ($P < 0,001$). Tyydyttyneiden rasvahappojen saanti oli suurempi ($P < 0,05$) nurmisäilörehuruokinnoissa kuin härkäpapu-kevätvehnäruokinnoissa. Väkirehun raakavalkuaistason ollessa matala tyydyttyneiden rasvahappojen saanti oli pienempi ($P < 0,05$) kuin väkirehun raakavalkuaistason ollessa korkea. Kertatyydyttymättömien rasvahappojen saanti lisääntyi, kun väkirehu sisälsi enemmän rypsiä ($P < 0,001$) ja kun säilörehussa oli härkäpapu-kevätvehnäsäilörehua ($P < 0,05$). Monityydyttymättömien rasvahappojen saanti oli suurempi nurmisäilörehua sisältäneissä ruokinnoissa ($P < 0,001$) kuin härkäpapu-kevätvehnäsäilörehua sisältäneissä ruokinnoissa. Niiden saanti oli myös suurempi, kun väkirehun raakavalkuaispitoisuus oli 200 g/kg ka verrattuna väkirehun 175 g/kg ka raakavalkuaispitoisuuteen ($P < 0,10$).

Härkäpapu-kevätvehnäsäilörehua sisältänyt ruokinta lisäsi rasvahappojen 18:0, *cis*-9 18:1, 18:2n-6 ja 20:0 saantia ja vähensi rasvahappojen 16:0, *trans*-3 16:1 ja 18:3n-3 saantia nurmisäilörehuun perustuneeseen ruokintaan verrattuna ($P < 0,001$). Väkirehun raakavalkuaistason nosto lisäsi rasvahappojen 18:0, *cis*-9 18:1 ja *cis*-11 18:1 saantia. Kun väkirehun raakavalkuaistaso oli korkea, monityydyttymättömien 18:2n-6:n ja 18:3n-3:n saanti oli suurempi ($P < 0,01$ ja $P < 0,05$) kuin väkirehun raakavalkuaistason ollessa matala. Tyydyttyneen 20:0:n saanti oli pienempi, kun rypsin määrää ruokinnassa vähennettiin ($P < 0,05$).

3.3. Pötsikäyminen

Koekäsittelyjen vaikutukset pötsikäymiseen on esitetty taulukossa 6. Härkäpapu-kevätvehnäsäilörehu lisäsi ammoniakkin pitoisuutta pötsinesteessä ($P = 0,01$). Väkirehun valkuaispitoisuudella ei ollut vaikutusta ($P > 0,10$) pötsinesteen ammoniakkipitoisuuteen.

Pötsinesteen pH ja haihtuvien rasvahappojen kokonaispitoisuus ei vaihdellut koeruokintojen välillä ($P > 0,10$). Härkäpapu-kevätsäilörehua sisältäneessä ruokinnassa voi-hapon mooliosuus pötsinesteen haihtuvista rasvahapoista oli suurempi ($P < 0,001$) kuin säilörehun ollessa puhdasta nurmisäilörehua. Väkirehun valkuaistason nosto nurmisäilörehuruokinnassa vähensi pötsin voi-hapon mooliosuutta, mutta ei muuttanut sitä härkäpapu-kevätsäilörehuruokinnassa (yhdysvaikutus, $P < 0,01$). Valkuaistason nosto lisäsi propionihapon mooliosuutta nurmisäilörehuun pohjautuneessa ruokinnassa ja vähensi sitä, kun säilörehussa oli härkäpapu-kevätsäilörehua (yhdysvaikutus, $P < 0,01$). Väkirehun raakavalkuaistason nosto vähensi kapronihapon osuutta pötsinesteessä ($P < 0,05$).

Säilörehun kasvilajilla ja väkirehun raakavalkuaispitoisuudella oli suuntaa-antava ($P < 0,10$) vaikutus etikkahapon ja voi-hapon suhteeseen. Härkäpapu-kevätsäilörehua sisältänyt ruokinta pienensi etikkahappo-voihapposuhdetta verrattuna nurmisäilörehua sisältäneeseen ruokintaan ($P < 0,10$). Väkirehun raakavalkuaispitoisuuden nosto suurensi etikkahappo-voihapposuhdetta ($P < 0,10$). Suuri väkirehun raakavalkuaispitoisuus nurmisäilörehuruokinnassa pienensi lipogeenisten haihtuvien rasvahappojen (etikka- ja voi-happo) suhdetta glukogeenisiin (propionihappo) rasvahappoihin, mutta härkäpapu-kevätsäilörehua sisältäneessä ruokinnassa suhde suureni (yhdysvaikutus, $P < 0,05$). Pötsikäymisessä ei havaittu ajan ja ruokinnan yhdysvaikutusta ($P > 0,10$). Alkueläinten määrässä ei ollut eroja koekäsittelyjen välillä ($P > 0,10$).

Taulukko 6. Pötsikäyminen.

Säilörehu (SR)					Tilastollinen merkitsevyys			ruok. x aika	
	Nurmi		Hp+nurmi		SEM	SR	VALK		SR vs VALK
Valkuainen (VALK)	RV175	RV200	RV175	RV200					
Havaintoja	8	7	6	8					
pH	6,31	6,28	6,29	6,33	0,094	0,672	0,856	0,382	0,588
NH ₃ -N mmol/l	6,89	6,43	9,03	9,19	1,180	0,010	0,857	0,742	0,456
Kokonais-VFA mmol/l	103	104	105	103	3,7	0,478	0,729	0,366	0,578
VFA mmol/mol									
Etikkahappo	646	647	643	645	4,1	0,421	0,633	0,853	0,349
Propionihappo	181	186	184	180	2,3	0,229	0,659	0,004	0,193
Voihappo	130	124	131	131	3,4	<0,001	0,002	0,003	0,263
Isovoihappo	13,2	13,2	13,5	13,8	1,00	0,647	0,829	0,850	0,897
Valeriaanahappo	18,2	18,4	18,2	18,8	0,96	0,859	0,668	0,809	0,910
Kapronihappo	6,81	6,03	6,50	6,00	0,270	0,448	0,014	0,617	0,970
Mooliosuus									
Etikkahappo/voihappo	5,00	5,22	4,94	4,97	0,156	0,052	0,091	0,194	0,260
Etikkahappo/propionihappo	3,59	3,44	3,53	3,61	0,056	0,433	0,894	0,044	0,218
Etikkahappo+voihappo/propionihappo	4,31	4,16	4,24	4,35	0,071	0,197	0,642	0,016	0,214
Alkueläimet x10 ⁵ ml	11,9	8,05	9,94	10,7	1,804	0,857	0,471	0,382	

Nurmi = timotei-nurminatasäilörehu, Hp+nurmi = härkäpapu-kevävehnäsäilörehun ja nurmisäilörehun seos 1:1 kuiva-aineessa, RV175 = väkirehun raaka-
valkuaispitoisuus 175 g/kg ka, RV200 = väkirehun raakavalkuaispitoisuus 200 g/kg ka.

SEM = keskiarvon keskivirhe (suurin Hp+nurmi ja RV175). Nurmi ja RV175 = SEM kerrottava luvulla 0,778, Nurmi ja RV200 = SEM kerrottava luvulla
0,934 ja Hp+nurmi ja RV200 = SEM kerrottava luvulla 0,855.

3.4. Maitotuotos, maidon koostumus ja rehun hyväksikäyttö

Taulukossa 7 on esitetty koekäsittelyjen vaikutus tuotokseen ja maidon koostumukseen sekä rehun hyväksikäytön tehokkuus maidontuotantoon.

Taulukko 7. Maitotuotos, maidon koostumus ja rehun hyväksikäyttötehokkuus maidontuotannossa.

Säilörehu (SR)	Nurmi		Hp+nurmi		SEM	Tilastollinen merkitsevyys		
	RV175	RV200	RV175	RV200		SR	VALK	SR vs VALK
Valkuainen (VALK)								
Havaintoja	8	7	6	8				
Tuotos								
Maito, kg/vrk	35,5	35,4	36,1	35,8	1,02	0,226	0,565	0,760
EKM, kg/vrk	38,1	36,8	38,4	37,1	0,81	0,608	0,062	0,975
Rasva, g/vrk	1634	1542	1630	1542	42,0	0,955	0,033	0,957
Valkuainen, g/vrk	1249	1231	1268	1252	23,6	0,329	0,693	0,958
Laktoosi, g/vrk	1571	1562	1604	1600	49,8	0,077	0,690	0,895
Maidon koostumus								
Rasva, g/kg	46,0	44,6	46,5	43,6	1,45	0,795	0,032	0,444
Valkuainen, g/kg	35,4	35,5	35,8	35,3	0,84	0,726	0,511	0,377
Valkuainen/rasva	0,77	0,80	0,77	0,82	0,019	0,580	0,049	0,669
Laktoosi, g/kg	44,3	44,1	44,4	44,7	0,30	0,138	0,816	0,322
Maidon ka-pit., g/kg	13,5	13,4	13,6	13,3	0,19	0,845	0,043	0,528
Urea, mg/100 ml	30,5	32,0	33,7	39,7	1,22	<0,001	<0,001	0,002
EKM kg/ kg rehun ka	1,55	1,49	1,52	1,52	0,044	0,907	0,290	0,397
ME:n hyväksikäyttö	0,61	0,58	0,61	0,61	0,002	0,411	0,321	0,272
OIV:n hyväksikäyttö	0,72	0,67	0,73	0,70	0,013	0,194	0,008	0,309
ME/EKM, MJ/kg	7,04	7,32	6,98	7,06	0,190	0,316	0,240	0,549
OIV/EKM, g/kg	61,6	66,4	61,0	64,7	1,71	0,401	0,008	0,688

Nurmi = timotei-nurminatasäilörehu, Hp+nurmi = härkäpapu-keväthevnäsäilörehun ja nurmisäilörehun seos 1:1 kuiva-aineessa. RV175 = väkirehun raakavalkuaispitoisuus 175 g/kg ka, RV200 = väkirehun raakavalkuaispitoisuus 200 g/kg ka.

EKM = Energiakorjattu maitotuotos, N = typpi, ME = muuntokelpoinen energia, OIV = ohutsuoesta imeytyvä valkuainen.

SEM = keskiarvon keskivirhe (suurin Hp+nurmi ja RV175). Nurmi ja RV175 = SEM kerrottava luvulla 0,778, Nurmi ja RV200 = SEM kerrottava luvulla 0,934 ja Hp+nurmi ja RV200 = SEM kerrottava luvulla 0,855.

Säilörehun kasvilaji ei vaikuttanut ($P>0,10$) maitotuotokseen eikä maidon koostumukseen lukuun ottamatta maidon suurempaa ureapitoisuutta härkäpapu-keväthevnäsäilörehua sisältäneessä ruokinnassa verrattuna nurmisäilörehuun pohjautuneeseen ruokintaan ($P<0,001$). Säilörehun kasvilaji vaikutti suuntaa-antavasti ($P<0,10$) maidon laktoosituotokseen. Härkäpapu-keväthevnäsäilörehua sisältäneessä ruokinnassa laktoosipitoisuus oli suurempi kuin nurmisäilörehua sisältäneessä ruokinnassa.

Rypsin määrän lisääminen vähensi EKM-tuotosta ($P < 0,10$) ja maidon rasvapitoisuutta ($P < 0,05$). Väkirehun korkea raakavalkuaistaso lisäsi maidon ureapitoisuutta ($P < 0,001$) verrattuna matalaan väkirehun raakavalkuaistasoon. Lisäksi säilörehulla ja väkirehun raakavalkuaistasolla oli yhdysvaikutus maidon ureapitoisuuteen ($P < 0,01$). Väkirehun korkea raakavalkuaistaso lisäsi maidon ureapitoisuutta säilörehun kasvilajista riippumatta, mutta härkäpapu-kevätsäilörehua sisältäneessä ruokinnassa muutos oli suurempi (yhdysvaikutus $P < 0,01$). Väkirehun raakavalkuaistason nosto vähensi myös maidon kuiva-ainepitoisuutta ja suurensi maidon valkuais/rasva-suhdetta ($P < 0,01$). Kun väkirehun raakavalkuaistasoa nostettiin, heikkeni typen ja OIV:n hyväksikäyttö maidontuotantoon ja OIV:a kului enemmän energiakorjattua maitokiloa kohden ($P < 0,01$). Energian hyväksikäytössä maidontuotantoon ei ollut eroa koekäsittelyjen välillä ($P > 0,10$).

Taulukossa 8 on maidon sisältämien rasvahappojen tuotos (g/vrk). Säilörehun kasvilaji ei juuri vaikuttanut yksittäisten rasvahappojen tuotokseen eikä rasvahappojen kokonaistuotokseen ($P > 0,10$). Väkirehun raakavalkuaistason nosto vähensi glyserolin ja rasvahappojen kokonaistuotosta ($P < 0,05$). Tyydyttyneiden rasvahappojen kokonaistuotos (g/vrk) oli ($P < 0,05$) pienempi, kun väkirehun raakavalkuaistaso oli 200 g/kg ka verrattuna raakavalkuaistasoon 175 g/kg ka. Väkirehun raakavalkuaistason nosto pienensi ($P < 0,10$) tyydyttyneistä rasvahapoista erityisesti 4:0:n, 6:0:n ja 16:0:n tuotosta. Säilörehun kasvilaji ja väkirehun raakavalkuaistaso eivät vaikuttaneet ($P > 0,10$) kertatyydyttyneiden rasvahappojen kokonaistuotokseen. Rasvahapon *cis*-9 16:1 tuotos oli pienempi ($P < 0,01$) korkealla väkirehun raakavalkuaistasolla kuin matalalla ja suuntaa-antavasti suurempi ($P < 0,10$) härkäpapu-kevätsäilörehuruokinnassa kuin nurmirehuruokinnassa.

Säilörehun kasvilaji ja väkirehun valkuaispitoisuus eivät vaikuttaneet ($P > 0,10$) monityydyttymättömien rasvahappojen kokonaistuotokseen eikä 18:3n-3:n tuotokseen, mutta 18:3n-3:n siirtotehokkuus rehusta maitoon oli parempi ($P < 0,001$), kun säilörehu sisälsi nurmisäilörehun lisäksi härkäpapu-kevätsäilörehua. Lisäksi 18:2n-6:n tuotos oli numeerisesti ($P = 0,11$) suurempi, kun säilörehuna oli nurmisäilörehun ja härkäpapu-kevätsäilörehun seos verrattuna puhtaaseen nurmisäilörehuun.

Taulukko 8. Rasvahappojen tuotos g/vrk.

Säilörehu (SR) Valkuainen (VALK)	Nurmi		Hp+nurmi		SEM	Tilastollinen merkitsevyys		
	RV175	RV200	RV175	RV200		SR	VALK	SR x VALK
Havaintoja	8	7	6	8				
4:0	50,3	48,4	50,8	46,5	1,62	0,573	0,033	0,361
6:0	34,1	33,8	35,7	32,7	1,25	0,958	0,057	0,250
8:0	22,2	21,8	22,8	21,4	0,87	0,831	0,160	0,483
10:0	53,6	51,2	54,1	52,1	2,37	0,703	0,239	0,932
11:0	6,92	6,68	7,18	6,62	0,403	0,768	0,224	0,630
12:0	65,0	61,1	65,4	63,1	2,81	0,586	0,175	0,728
14:0	200	187	193	187	7,2	0,583	0,152	0,574
<i>cis</i> -9 14:1	17,8	17,2	19,1	16,9	1,17	0,646	0,144	0,425
15:0	17,4	15,3	16,8	16,6	1,00	0,695	0,236	0,302
16:0	502	450	516	455	13,3	0,450	0,001	0,718
<i>iso</i> 16:0	4,16	3,83	3,79	4,05	0,214	0,711	0,873	0,152
<i>cis</i> -9 16:1	18,8	17,1	21,0	17,7	0,92	0,072	0,005	0,285
17:0	10,2	9,58	10,4	9,81	0,367	0,530	0,059	0,915
18:0	145	147	145	138	7,1	0,354	0,628	0,362
<i>cis</i> -9 18:1 + <i>trans</i> -15 18:1	242	238	233	236	6,8	0,349	0,932	0,538
<i>trans</i> -11 18:1	13,1	13,9	12,6	14,4	1,07	0,988	0,144	0,566
18:2n-6	19,3	19,8	21,9	20,7	1,20	0,108	0,709	0,392
<i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11 18:2	6,43	6,65	6,30	7,17	0,596	0,705	0,269	0,521
18:3n-3	6,00	6,12	6,39	6,41	0,339	0,202	0,781	0,837
Tunnistamattomat	16,2	16,5	16,1	16,1	0,81	0,791	0,864	0,807
SFA Yhteensä	1141	1059	1145	1059	31,2	0,943	0,011	0,953
MUFA Yhteensä	346	341	337	339	10,3	0,548	0,878	0,719
PUFA Yhteensä	38,6	39,2	41,3	41,4	2,09	0,183	0,831	0,877
Yhteensä rasvahappoja	1542	1455	1538	1455	39,6	0,958	0,034	0,950
Glyseroli	92,6	87,4	92,5	87,2	2,44	0,960	0,032	0,973
Siirtotehokkuus18:2n-6,%	15,1	15,1	16,3	15,1	0,98	0,442	0,432	0,441
Siirtotehokkuus18:3n-3,%	4,44	4,46	6,36	6,51	0,448	<0,001	0,819	0,874

Nurmi = timotei-nurminatasäilörehu, Hp+nurmi = härkäpapu-kevätiljasäilörehun ja nurmisäilörehun seos 1:1 kuiva-aineessa, RV175 = väkirehun raakavalkuaispitoisuus 175 g/kg ka, RV200 = väkirehun raakavalkuaispitoisuus 200 g/kg ka, SFA = tyydyttyneet rasvahapot, MUFA = kertatyydyttymättömät rasvahapot, PUFA = monityydyttymättömät rasvahapot, siirtotehokkuus = rasvahappoja maidossa/rasvahappoja rehussa*100, SEM = keskiarvon keskivirhe (suurin Hp+nurmi ja RV175). Nurmi ja RV175 = SEM kerrottava luvulla 0,778, Nurmi ja RV200 = SEM kerrottava luvulla 0,934 ja Hp+nurmi ja RV200 = SEM kerrottava luvulla 0,855.

Maitorasvan koostumus (g/100 g rasvahappoja) on esitetty taulukossa 9. Kun väkirehun raakavalkuaispitoisuus oli 200 g/kg ka, tyydyttyneiden rasvahappojen osuus maitorasvasta oli pienempi ($P < 0,05$) ja kerta- ja monityydyttymättömien suurempi ($P < 0,01$) kuin raakavalkuaispitoisuuden ollessa 175 g/kg ka.

Taulukko 9. Maitorasvan koostumus g/100 g rasvahappoja.

Säilörehu (SR) Valkuainen (VALK)	Nurmi		Hp + nurmi		SEM	Tilastollinen merkitsevyys		
	RV175	RV200	RV175	RV200		SR	VALK	SR x
						VALK		
Havainnot	8	7	6	8				
4:0	3,56	3,60	3,58	3,48	0,069	0,307	0,543	0,167
6:0	2,36	2,43	2,43	2,36	0,044	0,893	0,767	0,006
8:0	1,48	1,54	1,52	1,52	0,030	0,661	0,080	0,071
10:0	3,51	3,58	3,56	3,63	0,111	0,575	0,414	0,948
11:0	0,46	0,46	0,47	0,46	0,022	0,740	0,925	0,799
12:0	4,22	4,24	4,26	4,35	0,130	0,459	0,589	0,713
14:0	12,9	12,9	12,6	12,8	0,236	0,371	0,655	0,462
<i>cis</i> -9 14:1	1,17	1,17	1,23	1,17	0,071	0,616	0,512	0,637
15:0	1,12	1,08	1,08	1,13	0,055	0,905	0,951	0,278
16:0	32,5	30,6	33,2	31,0	0,65	0,323	0,004	0,840
<i>iso</i> 16:0	0,27	0,26	0,25	0,28	0,010	0,620	0,119	0,064
<i>cis</i> -9 16:1	1,22	1,16	1,34	1,21	0,065	0,138	0,075	0,501
<i>trans</i> -9 16:1 + <i>iso</i> 17:0	0,29	0,31	0,29	0,31	0,008	0,841	0,021	0,711
17:0	0,66	0,65	0,67	0,67	0,013	0,328	0,708	0,619
18:0	9,20	9,91	9,19	9,30	0,381	0,297	0,157	0,208
<i>iso</i> 18:0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,002	0,446	0,470	0,521
<i>cis</i> -9 18:1 + <i>trans</i> -15 18:1	15,6	16,1	15,0	16,1	0,31	0,196	0,006	0,242
<i>trans</i> -11 18:1	0,838	0,949	0,817	0,987	0,0616	0,854	0,011	0,545
18:2n-6	1,25	1,35	1,40	1,40	0,077	0,163	0,426	0,414
<i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11 18:2	0,416	0,449	0,405	0,491	0,0359	0,583	0,050	0,352
18:3n-3	0,380	0,420	0,410	0,430	0,0200	0,202	0,069	0,904
Tunnistamattomat	1,04	1,12	1,04	1,10	0,042	0,738	0,078	0,761
SFA Yhteensä	74,2	73,0	74,6	73,0	0,55	0,703	0,012	0,628
MUFA Yhteensä	22,3	23,2	21,8	23,2	0,433	0,415	0,009	0,503
PUFA Yhteensä	2,49	2,67	2,63	2,80	0,122	0,179	0,089	0,955

Nurmi = timotei-nurminatasäilörehu, Hp+nurmi = härkäpapu-kevätiljasäilörehun ja nurmisäilörehun seos 1:1 kuiva-aineessa, RV175 = väkirehun raakavalkuapitoisuus 175 g/kg ka, RV200 = väkirehun raakavalkuapitoisuus 200 g/kg ka., SFA = tyydyttyneet rasvahapot, MUFA = kertatyydyttymättömät rasvahapot, PUFA = monityydyttymättömät rasvahapot,

SEM = keskiarvon keskivirhe (suurin Hp+nurmi ja RV175). Nurmi ja RV175 = SEM kerrottava luvulla 0,778, Nurmi ja RV200 = SEM kerrottava luvulla 0,934 ja Hp+nurmi ja RV200 = SEM kerrottava luvulla 0,855.

3.5. Typen hyväksikäyttö

Typen hyväksikäyttötulokset on esitetty taulukossa 10. Väkirehun raakavalkuapistason nosto vähensi suuntaa-antavasti pötsissä tuotetun mikrobitypen määrää vuorokaudessa ($P < 0,10$). Tyypitase oli positiivinen kaikissa koekäsittelyissä. Tyypitaseeseen (g/vrk) oli säilörehun kasvilajilla ja väkirehun raakavalkuapistasolla yhdysvaikutus ($P < 0,05$). Nurmisäilörehuun pohjautuneessa ruokinnassa väkirehun raakavalkuapistason nosto suurensi

typpitasetta, mutta härkäpapu-kevätsäilörehua sisältäneessä ruokinnassa se pienensi sitä.

Maitoon erittyvän typen osuus väheni, kun väkirehun raakavalkuaistaso nousi ($P < 0,01$). Sonnassa erittyvään typen osuuteen koekäsittelyillä ei ollut vaikutusta ($P > 0,10$). Nurmisäilörehuun pohjautuvassa ruokinnassa väkirehun raakavalkuaispitoisuuden suureminen lisäsi virtsaan erittyvän typen määrää ja osuutta, kun taas härkäpapu-kevätsäilörehua sisältävissä ruokinnoissa se vähensi virtsaan erittyvän typen määrää ja osuutta (yhdyksvaikutus ($P < 0,10$)).

Taulukko 10. Typen saanti ja jakaantuminen.

Säilörehu (SR)	Nurmi		Hp + nurmi		SEM	Tilastollinen merkitsevyys		
	RV175	RV200	RV175	RV200		SR	VALK	SR x VALK
Valkuainen (VALK)								
Havaintoja	8	7	6	8				
Mikrobi-N, g/vrk ¹	309	291	313	289	14,6	0,946	0,060	0,676
N tase, g/vrk ²	48,7	36,2	5,22	55,1	12,00	0,277	0,102	0,017
N saanti, g/vrk	657	697	690	710	11,7	0,058	0,015	0,360
N maidossa, g/vrk	196	193	199	196	3,7	0,331	0,393	0,950
N sonnassa, g/vrk	213	232	237	227	10,4	0,312	0,572	0,135
N virtsassa, g/vrk	200	237	249	231	14,5	0,133	0,477	0,062
N jakaantuminen, % ³								
Maito	29,8	27,7	29,0	27,8	0,56	0,417	0,005	0,349
Sonta	32,3	33,3	34,4	32,1	1,28	0,710	0,548	0,161
Virtsa	30,4	33,9	36,3	32,5	1,91	0,214	0,946	0,058

Nurmi = timotei-nurminatasäilörehu, Hp+nurmi = härkäpapu-kevätsäilörehun ja nurmisäilörehun seos 1:1 kuiva-aineessa, RV175 = väkirehun raakavalkuaispitoisuus 175 g/kg ka, RV200 = väkirehun raakavalkuaispitoisuus 200 g/kg ka.

¹ Chen and Gomez, 1992.

² N saanti (g/d) – [N maidossa (g/d) + N sonnassa (g/d) + N virtsassa (g/d)].

³ N erityys (g/d) / N saanti (g/d) x 100.

SEM = keskiarvon keskivirhe (suurin Hp+nurmi ja RV175). Nurmi ja RV175 = SEM kerrottava luvulla 0,778, Nurmi ja RV200 = SEM kerrottava luvulla 0,934 ja Hp+nurmi ja RV200 = SEM kerrottava luvulla 0,855.

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Rehujen kemiallinen koostumus ja rehuarvot

Tutkimuksen molemmat karkearehut olivat säilyneet hyvin pH-arvojen ja haihtuvien rasvahappojen määrän perusteella arvioituna. Rehujen ammoniumtypen osuus kokonasiyepistä oli nurmisäilörehussa lähellä nykyisten laatusuosituksen ylärajaa (Valio

2008). Syrjälä-Qvistin ym. (1984), Fraserin ym. (2001) ja Seppälän ym. (2015) mukaan härkäpapukasvuston suuri kosteuspitoisuus voi aiheuttaa ongelmia säilönnässä. Haagin (2007) tutkimuksessa härkäpapu-kevätnäsäilörehujen säilöntä onnistui hyvin, vaikka niiden kuiva-ainepitoisuudet olivat jopa alle 200 g/kg ka. Tässä tutkimuksessa härkäpapu-kevätnäsäilörehun esikuivatusaika oli pitkä (n. 30 h) ja valmiin härkäpapu-kevätnäsäilörehun kuiva-ainepitoisuus oli 389 g/kg ka:ssa. Rehun onnistunut esikuivaus edistää säilönnän onnistumista, mutta toisaalta voi lisätä varisemistappioita. Kuoppalan ym. (2014b) mukaan varisemistappioita voidaan vähentää, jos käytetään suoraan kasvustosta korjaavia koneita. Suoraan korjattaessa puristenestetappiot voivat lisääntyä (Kuoppala ym. 2014b). Kun siemenseoksessa käytettiin viljaa, kasvuston kuiva-ainepitoisuus oli suurempi kuin puhtaassa härkäpapukasvustossa (Faulkner 1985, Kuoppala 2014b). Pursiaisen ja Tuorin (2008) tutkimuksessa härkäpapu-kevätnäsäilörehuseoksen kuiva-ainepitoisuus suureni, kun kevätnänsäilörehun osuus seoksen tuorepainosta suureni. Säilörehun korjuun ja säilönnän onnistuminen vaikuttaa valmiin säilörehun ruokinnallisiin arvoihin.

Härkäpapu-kevätnäsäilörehun raakavalkuaispitoisuus (165 g/kg ka) oli vain 10 g/kg ka suurempi kuin nurmisäilörehun. Puhtaissa härkäpapusäilörehuissa raakavalkuaispitoisuudet ovat olleet suurempia (jopa yli 200 g/kg ka) (McKnight ja MacLeod 1977, Mustafa 2003) kuin seoksena viljan kanssa viljellyissä (Haag 2007, Kuoppala 2014b, Markkanen 2014). Härkäpavun ja viljan seosviljelyllä voidaan pienentää säilörehusadon raakavalkuaispitoisuutta ja siten vähentää helposti hajoavan valkuaisen määrää pötsissä.

Härkäpapu-kevätnäsäilörehun tärkkelyspitoisuuteen vaikuttavat kasvuston kehitysaste ja siementen osuus korjattavassa kasvimassassa. Tässä tutkimuksessa härkäpapu-kevätnäsäilörehu sisälsi tärkkelystä 115 g/kg ka. Puhtaassa härkäpapusäilörehussa tärkkelystä oli 64 g/kg ka, kun kasvusto korjattiin 14 viikkoa kylvöstä (Fraser ym. 2001). Kuoppalan ym. (2014b) tutkimuksessa tärkkelyspitoisuus suureni härkäpapu-kevätnäkasvuston vanhetessa ja oli korkeimmillaan 135 g/kg ka. Härkäpavun tärkkelys on pääasiassa paloissa ja tärkkelyspitoisuus lisääntyy sitä mukaa, kun siemenet valmistuvat (Fraser 2001, Kuoppala 2014b). Myös puhtaan kevätnänsäilörehun tärkkelyspitoisuus suureni kasvuston kehittyessä (Jaakkola ym. 2009). Jaakkolan ym. (2009) tutkimuksessa kevätnänsäilörehun tärkkelyspitoisuus oli 67 g/kg ka, kun se korjattiin 94 vrk kylvöstä ja 196 g/kg ka, kun se korjattiin 108 vrk kylvöstä. Tässä tutkimuksessa kevätnänsäilörehun osuus oli 10 % valmiissa säilörehussa (Termonen 2015).

Härkäpapu-kevätsäilörehussa *in vitro* D-arvo (sulavan orgaanisen aineen pitoisuus) ja NDF:n pitoisuus olivat selvästi pienemmät kuin nurmisäilörehussa. Sulamatonta kuitua oli härkäpapu-kevätsäilörehussa huomattavasti enemmän kuin nurmisäilörehussa kuten oli myös Kuoppalan ym. (2014b) tutkimuksessa. Kuoppalan ym. (2014b) mukaan härkäpavun kasvin osista varsissa oli eniten iNDF:ää. Tässä tutkimuksessa iNDF:n osuus kokonaiskuitumäärästä oli 21 % nurmisäilörehussa ja 46 % härkäpapu-kevätsäilörehussa. Kuoppala ym. (2014a) havaitsivat, että härkäpapakasvuston iNDF (g/kg ka) väheni, kun kasvusto korjattiin myöhään johtuen ilmeisesti siementen osuuden lisääntymisestä. Smithin ym. (1972) mukaan palkokasveissa on suurempi prosentuaalinen osuus ligniiniä ja pienempi prosentuaalinen osuus hemiselluloosaa kuin heinäkasveissa. Soluseinämän rakenne on palkokasveilla enemmän lignifikoitunut kuin heinäkasveilla, mutta palkokasvien soluseinämät pilkkoutuvat nopeammin pötsissä kuin heinäkasvien soluseinämät (Smith ym. 1972, Dewhurst 2009).

Säilörehujen energia-arvo lasketaan D-arvon perusteella ja D-arvo huomioidaan myös valkuaisarvojen laskennassa (Luke 2015). Koska nurmisäilörehun D-arvo oli korkeampi kuin härkäpapu-kevätsäilörehun, nurmisäilörehun energia-arvo (ME, MJ/kg ka) ja ohutsuolesta imeytyvän valkuaisen määrä (OIV g/kg ka) olivat suuremmat nurmisäilörehussa kuin härkäpapu-kevätsäilörehussa. Vastaavasti härkäpapu-kevätsäilörehun suurempi raakavalkuaispitoisuus ja pienempi energiapitoisuus suurensivat pötsin valkuaiastasetta (PVT g/kg ka) nurmisäilörehuun verrattuna.

Säilörehun syönti-indeksillä kuvataan rehun eri ominaisuuksien vaikutusta sen syöntiin, kun rehun saanti on vapaata (Rinne ym. 2008). Kokovilja- tai palkokasvisäilörehun lisääminen karkearehuun suurentaa syönti-indeksiä. Tässä tutkimuksessa härkäpapu-kevätsäilörehun syönti-indeksi oli hieman suurempi kuin nurmisäilörehun. Laskentakaavassa huomioitiin kokoviljan osuus (Huhtanen ym. 2007).

Rypsirouheen määrän nosto väkirehussa pienensi viljan osuutta ja sitä kautta hieman tärkkelyspitoisuutta, koska rypsirouhetta enemmän tärkkelystä sisältävän viljan määrä vastaavasti pieneni. Viljaan verrattuna enemmän raakavalkuaista sisältävän rypsirouheen määrä vaikutti myös väkirehujen valkuaisrehuarvoihin. Väkirehun OIV:n määrä ja PVT olivat suuremmat, kun väkirehussa oli raakavalkuaista 200 g/kg ka kuin väkirehun raakavalkuaiastason ollessa 175 g/kg ka.

Nurmisäilörehu sisälsi enemmän rasvahappoja kuin härkäpapu-kevätehnäsäilörehu. Säilörehujen rasvahappopitoisuus on Shingfieldin ym. (2010) mukaan tyypillisesti 10 - 40 g/kg ka, joten härkäpapu-kevätehnäsäilörehun rasvahappojen määrä jäi hieman tämän alle. Rasvahappojen määrään härkäpapu-kevätehnäsäilörehussa saattoi vaikuttaa rehun pitkä esikuivausaika. Halmemies-Beauchet-Filleau (2013) totesi, että pitkä esikuivatusaika lisää tyydyttymättömien rasvahappojen hapettumista vähentäen etenkin 18:2n-6:n ja 18:3n-3:n pitoisuutta rehussa.

Molemmissa säilörehuissa ja niiden seoksessa oli rasvahapoista eniten 16:0:a, 18:2n-6:a ja 18:3n-3:a, minkä ovat todenneet erilaisissa säilörehuissa aiemmin myös Dewhurst ym. (2001), Boufaïed ym. (2003), Dewhurst ym. (2006) ja Koivunen ym. (2015). Nurmisäilörehun rasvahapoista yli puolet oli 18:3n-3:a ja sen osuus oli kaksi kertaa suurempi kuin härkäpapu-kevätehnäsäilörehussa. Härkäpapu-kevätehnäsäilörehussa 18:2n-6:n osuus rasvahapoista oli kaksinkertainen nurmisäilörehuun verrattuna. Nurmisäilörehussa lehtien osuus rehusta oli ilmeisesti suurempi kuin härkäpapu-kevätehnäsäilörehussa ja härkäpapu-kevätehnäsäilörehu sisälsi härkäpavun siemeniä. Kasvien lehdissä on 18:3n-3:a (Boufaïed ym. 2003) ja härkäpavun siemenen lipideistä yli kolmannes on 18:2n-6:a (Grela ja Günter 1995).

Kun väkirehun raakavalkuaistaso oli matala, se sisälsi hieman vähemmän rasvahappoja kuin väkirehun raakavalkuaistason ollessa korkea. Tämä johtui todennäköisesti pienemmästä rypsirouheen osuudesta väkirehun raakavalkuaistason ollessa matala verrattuna korkeaan tasoon. Chenin ym. (2008) mukaan rypsirehujen rasvahapoista suurin osa oli *cis*-9 18:1:a. Kuten härkäpapu-kevätehnäsäilörehussa, väkirehuissa 18:2n-6:n osuus rasvahapoista oli noin kolmannes.

4.2 Syöinti ja ravintoaineiden saanti

Säilörehun kasvilaji ei vaikuttanut kokonaiskuiva-aineen syöntiin tässä tutkimuksessa vaikka härkäpapu-kevätehnäsäilörehun D-arvo oli pienempi nurmisäilörehuun verrattuna. Huhtasen (1998) mukaan nurmisäilörehuun perustuvissa ruokinnoissa syöinti yleensä suurenee D-arvon suurentuessa. Numeraalisesti syöinti oli hiukan suurempi, kun karkearehussa oli härkäpapua ja väkirehun raakavalkuaistaso oli 175 g/kg ka. Tutkimuksissa, joissa on ollut härkäpapusäilörehua puhtaana tai seoksena viljan kanssa, syön-

ti on ollut vähintään yhtä suurta kuin nurmipalkokasvi- tai nurmisäilörehuruokinnassa (McKnight ja McLeod 1977, Ingalls ym. 1979, Haag 2007, Louw 2009, Markkanen 2014). Allenin (2000) mukaan lypsylehmien kuiva-aineen syötiin vaikuttavat useat dieetin fyysiset ja kemialliset ominaisuudet ja niiden yhdysvaikutukset.

Koska kokonaiskuiva-aineen syönnit koeruokinnossa eivät poikenneet toisistaan, erot ravintoaineiden saanneissa selittyvät rehujen koostumuseroilla. Härkäpaju-kevätsäilörehua ja enemmän viljaa sisältäneissä ruokinnossa lehmät saivat enemmän tärkkelystä kuin nurmisäilörehua ja enemmän rypsiä sisältäneissä ruokinnossa. Suurempi tärkkelyksen määrä ei vaikuttanut kuitenkaan pötsin happamuuteen. Tärkkelyksen suurempi saanti johtaa usein pötsin happamoitumiseen, mikä vaikeuttaa kuitua sulattavien mikrobien toimintaa pötsissä ja sitä kautta voi vaikuttaa kokonaiskuiva-aineen syötiin (McDonald ym. 2002). Termosen (2015) mukaan härkäpaju-kevätsäilörehuruokinnossa tärkkelyksen sulavuus oli hieman heikompi kuin nurmisäilörehuun pohjautuvissa ruokinnossa. Tärkkelyksen sulatuspaikka ruuansulatuskanavassa voi vaikuttaa kokonaiskuiva-aineen syötiin (Allen 2000). Mitä suurempi osuus tärkkelyksestä sulaa pötsissä, sitä enemmän se pienentää kokonaiskuiva-aineen syöntiä. Larsenin ym. (2009) mukaan palkokasvien tärkkelyksen sulavuus niin pötsissä kuin ohutsuolessakin oli huonompi vilja-tärkkelykseen verrattuna. Tämä saattaa johtua siitä, että pötsin bakteerien ja haiman tuottaman amylaasin toimintaan vaikuttaa jokin yhteinen tekijä.

Nurmisäilörehuun pohjautuneessa ruokinnassa lehmät saivat enemmän NDF:ää, joka sisälsi enemmän pdNDF:ää verrattuna härkäpaju-kevätsäilörehuun sisältäneisiin ruokintoihin. Allenin (2000) mukaan kokonaiskuiva-aineen syönti suurenee, kun dieetin NDF-pitoisuus pienenee. Palkokasvien kuidun huonompaa sulavuutta kompensoi suurempi partikkelien hajoamisnopeus märehijän suussa ja pötsissä nurmikasveihin verrattuna, mikä yleensä johtaa suurempaan rehun virtaukseen ja kuiva-aineen syötiin (Allen 2000). Sulamattoman kuidun osuuden lisääntyessä rehun viipymäaika pötsissä pitenee (Allen 1996). Tässä tutkimuksessa härkäpaju-kevätsäilörehussa suuri iNDF:n määrä ja pdNDF:n pienempi osuus härkäpaju-kevätsäilörehuruokinnassa verrattuna nurmisäilörehuruokintaan saattoi olla syynä, miksi palkokasvin lisääminen karkearehuun ei lisännyt kokonaiskuiva-aineen syöntiä.

Härkäpaju-kevätsäilörehuun lisääminen karkearehuun ja rypsirouheen annostason nosto lisäsivät raakavalkuaisen saantia. Suurempi raakavalkuaistaso ei lisännyt tässä

tutkimuksessa kokonaiskuiva-aineen syöntiä vastoin Allenin (2000) ja Huhtasen ym. (2011) review-artikkelien johtopäätöksiä. Kun pötsimikrobien typen saanti ei ole riittävä, valkuais täydennys tehostaa kuidun sulatusta pötsissä ja kokonaiskuiva-aineen syönti yleensä suurenee. Kaikissa ruokinnoissa PVT (g/vrk) oli selvästi positiivinen eli pötsissä oli ylen määrin typpeä saatavilla olevaan energiaan nähden. Tämä saattoi olla syynä siihen, että väkirehun valkuaispitoisuuden suureneminen ei lisännyt odotetusti syöntiä ja maitotuotosta.

Säilörehujen rasvahappokoostumus- ja -pitoisuuseroista johtuen koeruokinnat poikkesivat toisistaan rasvahappojen saantien suhteen. Härkäpapu-kevätsäilörehua sisältänyt ruokinta lisäsi etenkin rasvahapon 18:2n-6 saantia ja vähensi rasvahappojen 16:0 ja 18:3n-3 saantia nurmisäilörehuun perustuneeseen ruokintaan verrattuna. Väkirehun raakavalkuaistason nosto lisäsi rasvahapon *cis*-9 18:1 saantia heijastaen rypsirouheen rasvahappokoostumusta. Chenin (2008) mukaan 94 % rypsin rasvahapoista oli tyydyttymättömiä ja *cis*-9 18:1:n osuus rasvahapoista oli lähes 60 %. Kun väkirehun raakavalkuaistaso oli 200 g/kg ka, monitydyttymättömien 18:2n-6:n ja 18:3n-3:n saanti oli suurempi kuin väkirehun raakavalkuaistason ollessa matala.

4.3 Pötsikäyminen

Erot pötsikäymisessä olivat koeruokintojen välillä pieniä. Pötsin pH:t (keskimäärin 6,30) eivät poikenneet toisistaan ja olivat pötsimikrobien kannalta turvallisena pidetyllä tasolla (McDonald ym. 2002). Härkäpapu-kevätsäilörehua, joka sisälsi enemmän raakavalkuaista kuin nurmisäilörehu, sisältäneessä ruokinnassa ammoniakkin pitoisuus pötsinesteessä oli suurempi kuin nurmisäilörehua sisältäneessä. Härkäpapua sisältäneen karkearehun raakavalkuaisten pötsihajoavuus oli ilmeisen suuri, kuten myös Mustafa ja Seguin (2003) totesivat tutkimuksessaan. Dewhurst ym. (2003b) ja Vanhatalo ym. (2009) totesivat, että puna-apilasäilörehuruokinnassa pötsinesteen ammoniakkipitoisuus oli suurempi verrattuna nurmisäilörehuruokintaan. Rypsirouheen annostason nosto ei lisännyt pötsinesteen ammoniakkipitoisuutta, kuten havaittiin Rinteen ym. (2015) tutkimuksessa, kun täydennysvalkuaista lisättiin nurmisäilörehuun ja puna-apilaan pohjautuneeseen ruokintaan.

Haihtuvien rasvahappojen mooliosuudet pötsinesteessä eivät poikenneet tavanomaisesta (Sutton 1985, Dijkstra ym. 1993, Sutton ym. 2003). Härkäpapu-kevätsäilörehua

sisältäneessä ruokinnassa voihapsen mooliosuus pötsinesteen haihtuvista rasvahapoista oli hiukan suurempi kuin säilörehun ollessa puhdasta nurmisäilörehua. Väkirehun valkuaispitoisuuden nosto nurmisäilörehuruokinnassa vähensi pötsin voihapsen pitoisuutta 6 mmol/mol, mutta ei vaikuttanut härkäpaju-kevätsäilörehuruokinnassa. Huhtasen ym. (2013) mukaan täkkelyspitoisuuden kasvaessa voihapsen mooliosuus pötsissä suurenee, mikä vaikuttaa alkueläinten määrään pötsinestessä. Rooken ym. (1992) mukaan alkueläinten määrä pötsinestessä lisääntyi, kun väkirehutäydennyksessä oli enemmän täkkelystä (ohraa 15 % vs. 30 % dieetin kuiva-ainesta). Lehmät saivat enemmän täkkelystä härkäpaju-kevätsäilörehuruokinnassa nurmirehuruokintaan verrattuna ja nurmirehuruokinnassa rypsin lisääminen vähensi viljan ja sitä kautta täkkelyksen osuutta. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut tässä tutkimuksessa alkueläinten määrään.

4.4 Maitotuotos ja maidon koostumus

Kun nurmisäilörehusta korvattiin 50 % härkäpaju-kevätsäilörehulla, maitotuotos ja maidon valkuaispitoisuus pysyivät samalla tasolla kuin puhtaassa nurmisäilörehuruokinnassa. Tulos vastaa aiempien härkäpajusäilörehua sisältäneiden ruokintatutkimusten tuloksia (McKnight ja McLeod 1977, Ingalls ym. 1979, Haag 2007, Louw 2009, Markkanen 2014).

Maidon ureapitoisuus oli härkäpaju-kevätsäilörehua sisältäneessä ruokinnassa suurempi kuin nurmisäilörehuruokinnassa, mikä oli ennakoitavissa suuremman PVT:n ja pötsinesteen ammoniakkipitoisuuden perusteella. Kuten todettua härkäpaju-kevätsäilörehun raakavalkuaisen pötsihajoavuus oli ilmeisesti suuri (Mustafa ja Seguin 2003). Väkirehun raakavalkuaispitoisuuden nosto lisäsi myös maidon ureapitoisuutta ja härkäpaju-kevätsäilörehua sisältäneessä ruokinnassa ureapitoisuus lisääntyi enemmän verrattuna nurmisäilörehua sisältäneeseen ruokintaan. Koeruokintojen suurin maidon ureapitoisuus oli härkäpaju-kevätsäilörehuseosta ja 200 g/kg ka raakavalkuaista väkirehussa sisältäneessä ruokinnassa. Broderickin (2003) ja Nousiainen ym. (2004) mukaan maidon ureapitoisuus kertoo ruokinnan raakavalkuaispitoisuudesta, typen käytön tehokkuudesta sekä energian ja valkuaisen tasapainosta pötsissä.

4.5 Maidon rasva- ja rasvahappotuotos

Maidon rasvapitoisuudessa ja –tuotoksessa ei ollut eroa nurmisäilörehua ja härkäpapu-kevätsäilörehu-nurmisäilörehuseosta sisältäneiden ruokintojen välillä. Väkirehun korkeampi raakavalkuaistaso vähensi rasvatuotosta ja maidon rasvapitoisuutta matalampaan raakavalkuaistasoon verrattuna.

Säilörehun raaka-aine ei vaikuttanut maidon rasvahappotuotokseen, vaikka ruokintojen rasvahappokoostumukset poikkesivat toisistaan. 18:3n-3:n saanti oli pienempi härkäpapu-kevätsäilörehuruokinnoissa kuin nurmisäilörehuruokinnoissa, mutta 18:3n-3 siirtyi kuitenkin maitoon tehokkaammin (4,5 vs. 6,4 %) härkäpapu-kevätsäilörehua sisältäneissä ruokinnoissa kuin nurmisäilörehua sisältäneissä. Täten 18:3n-3:n tuotoksissa ei ollut eroa ruokintojen välillä. Aiemmissa nurmipalkokasvitutkimuksissa puna-apila-, valkoapila- ja sinimailassäilörehu on lisännyt tyydyttymättömien rasvahappojen, erityisesti 18:3n-3:n, pitoisuutta maitorasvassa (Dewhurst ym. 2003, Vanhatalo ym. 2007, Halmemies-Beauchet-Filleau ym. 2014) ja 18:3n-3:n siirtotehokkuus rehusta maitoon on ollut suurempi johtuen 18:3n-3:n vähäisemmästä biohydrogenaatiosta pötsissä (Dewhurst ym. 2003, Halmemies-Beauchet-Filleau 2013).

Kun ruokinta sisälsi enemmän rypsirouhetta, maidon tyydyttyneiden 4:0:n, 6:0:n ja 16:0:n tuotos oli pienempi (-3,1, -10 ja -56 g/vrk) verrattuna vähemmän rypsirouhetta sisältäneeseen ruokintaan. Tästä johtuen maidon tyydyttyneiden rasvahappojen kokonaistuotos ja rasvatuotos olivat pienemmät enemmän rypsirouhetta sisältäneissä ruokinnoissa verrattuna siihen, kun rypsin määrä oli pienempi. Tässä tutkimuksessa ei ollut eroa plasman etikkahapon ja β -hydroksivoihapon pitoisuuksissa ruokintojen välillä (Termonen 2015), joten lähtöaineiden saatavuus ei rajoittanut tyydyttyneiden rasvahappojen *de novo* –synteesiä maitorauhasessa. Termosen (2015) mukaan väkirehun raakavalkuaispitoisuuden lisääntyessä plasman insuliinipitoisuudet suurentuvat, mistä johtuen maitorasvan esiaineet saattoivat osin ohjautua maitorauhasen ohi. Väkirehun raakavalkuaispitoisuuden nosto lisäsi hieman kerta- ja monitydyttymättömien rasvahappojen saantia. Pitkäketjuiset, tyydyttymättömät rasvahapot vähentävät maitorauhasen *de novo* –synteesiä (Bauman ja Griinari 2003).

Maitorasvan koostumus (g/100 g rasvahappoja) vastasi sitä, mitä Lock ja Shingfield (2004) ovat aiemmin esittäneet. Puhdasta nurmisäilörehua ja härkäpapu-

kevätsäilörehun ja nurmisäilörehun seosta sisältäneiden ruokintojen välillä ei ollut eroa maitorasvan koostumuksessa. Rypsirouheen annostalon nosto vähensi tyydyttyneiden rasvahappojen osuutta ja lisäsi tyydyttymättömien rasvahappojen osuutta maitorasvassa. Etenkin 18:1 osuus maitorasvassa lisääntyi, kun rypsin annostalo nousi. Vanhatalo ym. (2004) totesivat tutkimuksessaan, että rypsirouheen sisältämä pieni rasvamäärä riitti parantamaan maidon rasvahappokoostumusta ihmisravitsemuksen kannalta. Tyydyttyneiden rasvahappojen osuus väheni ja tyydyttymättömien lisääntyi.

4.6 Typen saanti ja jakaantuminen

Säilörehun kasvilaji vaikutti suuntaa-antavasti eläinten typen saantiin (g/vrk). Härkäpapu-kevätsäilörehua sisältäneessä ruokinnassa lehmät saivat enemmän typpeä kuin nurmisäilörehuun pohjautuneessa ruokinnassa. Dewhurstin ym. (2009) mukaan palkokasvien sisältämä suuri typen määrä ja sen nopea hajoaminen pötsissä usein johtaa typen hyväksikäytön huononemiseen.

Väkirehun raakavalkuaistason nosto vähensi suuntaa-antavasti pötsissä tuotetun mikrobitypen määrää vuorokaudessa. Ainakaan typen saanti ei rajoittanut mikrobivalkuaisen synteisiä väkirehun valkuaisoson ollessa korkea. Castillon ym. (2000) ja Dijkstran ym. (2003) review-artikkeleiden mukaan mikrobivalkuaisen synteisiin vaikuttaa typen saannin lisäksi pötsimikrobien energian saanti sekä energian ja valkuaisen välinen tasapaino pötsissä. Väkirehun raakavalkuaistason ollessa korkea tärkkelystä sisältävän viljan osuus väkirehussa pieneni, mikä saattoi vähentää pötsimikrobien käytössä olevaa energiamäärää ja täten mikrobivalkuaisen synteisiä. Tärkkelyksen syönti lisääntyi keskimäärin 330 g/vrk/lehmä, kun väkirehun raakavalkuaistaso oli 175 g/kg ka.

Typitase oli positiivinen kaikissa koekäsittelyissä. Typitaseeseen (g/vrk) oli säilörehun kasvilajilla ja väkirehun raakavalkuaistasolla yhdysvaikutus. Nurmisäilörehuun pohjautuneessa ruokinnassa väkirehun raakavalkuaistason nosto pienensi typitasetta, mutta härkäpapu-kevätsäilörehua sisältäneessä ruokinnassa se suurensi sitä. Väkirehun raakavalkuaistason ollessa korkea härkäpapu-kevätsäilörehua sisältäneessä ruokinnassa typen saanti oli suurempi, mutta typpeä oli sonnassa ja virtsassa vähemmän kuin nurmisäilörehua sisältäneessä ruokinnassa. Tässä tutkimuksessa ei tutkittu eläinten elopainon kehittymistä ja huomioitu mahdollista tiineyttä. Typitaseeseen ollessa positiivinen

osa valkuaisesta saattoi ohjautua lihaksiin tai sikiön kasvuun, kuten Botts ym. (1979) ja Bell (2000) ovat todenneet.

Nurmisäilörehuun pohjautuvassa ruokinnassa väkirehun raakavalkuaispitoisuuden suureneminen lisäsi virtsaan erittyvän typen määrää ja osuutta, kun taas härkäpapu-kevätsäilörehua sisältävissä ruokinnoissa se vähensi virtsaan erittyvän typen määrää ja osuutta. Aikaisemmissa tutkimuksissa ruokinnan korkea raakavalkuaispitoisuus on lisännyt typen poistumista elimistöstä virtsan kautta. Castillon ym. (2000) mukaan, kun typen saanti ylittää 400 g/vrk, typen eritysvirtsaan lisääntyy eksponentiaalisesti. Typen erittyminen sotaan ja maitoon myös lisääntyy, mutta lisääntymisvauhti hidastuu. Tässä tutkimuksessa virtsan määrän ja pitoisuuksien määrittämiseksi virtsasta otettiin spottinäytteitä. Mittausmenetelmän epävarmuus saattoi vaikuttaa tuloksiin. Maitoon erittyvän typen osuus väheni, kun väkirehun raakavalkuaispitoisuus nousi. Castillo ym. (2000) ja Huh-tanen ym. (2008) totesivat, että typen hyväksikäyttö maitovalkuaisen tuotantoon huononee, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuus nousee. Olmos Colmoneron ja Broderickin (2006) tutkimuksen mukaan, kun dieetin raakavalkuaispitoisuus oli 165 g/kg ka, saavutettiin maksimaalinen maitotuotos pienimmillä typpitappioilla ympäristöön. Tässä tutkimuksessa nurmisäilörehuruokinnassa pienemmällä rypsilisällä koko ruokinnan raakavalkuaispitoisuus oli 164 g/kg ka ja suuremmalla rypsilisällä 174 g/kg ka. Vastaavasti härkäpapu-kevätsäilörehua sisältäneissä ruokinnoissa raakavalkuaispitoisuudet olivat 172 ja 178 g/kg ka. Ruokinnalliset keinot typpipäästöjen pienentämiseen ovat Dijkstran ym. (2013) mukaan pötsissä hajoavan valkuaisen sopiva täydentäminen ja imeytyvien aminohappojen tehokas hyväksikäyttö maitovalkuaisen muodostamiseen. Yhteys energia- ja valkuaisaineenvaihdunnan välillä on otettava huomioon (Broderick 2003, Dijkstra ym 2013).

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa selvitettiin härkäpapu-kevätsäilörehun vaikutusta maidon tuotantoon ja koostumukseen sekä typen hyväksikäyttöön ja verrattiin sitä perinteiseen nurmisäilörehuun, jonka D-arvo oli 678 g/kg ka. Tämän tutkimuksen perusteella härkäpapu-kevätsäilörehulla voi korvata puolet nurmisäilörehusta maitotuotoksen karsimatta, kun nurmisäilörehun D-arvo on kohtuullisen suuri. Rypsirouheen määrän lisääminen ei tuonut tässä tutkimuksessa lisämaitolitroja eikä lisännyt maidon pitoisuuksia. Rehutypen hyväksikäyttö maitovalkuaiseksi heikkeni, kun rypsirouheen määrää lisättiin. Kun karkearehu sisälsi härkäpapu-kevätsäilörehua, rypsirouheen määrän

lisääminen ruokinnassa lisäsi merkittävästi maidon ureapitoisuutta. Typen liikasyöttö huonontaa sen hyväksikäyttöä maidontuotannossa, on taloudellisesti kannattamatonta, lisää ympäristön kuormitusta ja heikentää valkuaisomavaraisuutta.

Tutkimuksessa selvitettiin myös härkäpapu-kevätsäilörehun rasvahappokoostumusta ja sen vaikutusta maidon rasvahappokoostumukseen nurmisäilörehuun verrattuna. Suurempi osa härkäpapu-kevätsäilörehun kuin nurmisäilörehun pitkäketjuisista rasvahapoista, etenkin 18:3n-3, säästyi ilmeisesti pötsissä biohydrogenaatiolta. 18:3n-3:n siirtotehokkuus rehusta maitoon oli parempi härkäpapu-kevätsäilörehua sisältäneissä ruokinnoissa kuin karkearehun ollessa puhdasta nurmisäilörehua. Väkirehun valkuaisosan nosto vähensi rasvatuotosta johtuen todennäköisesti 16:0:n vähäisemmästä *de novo* -synteesisestä maitorauhasessa.

6 KIITOKSET

Lämpimät kiitokset työni ohjaajille tutkijatohtori Anni Halmemies-Beauchet-Filleaulle ja yliopistonlehtori Seija Jaakkolalle. Kiitokset myös perheelleni kärsivällisyydestä äidin opiskellessa.

LÄHTEET

- Ahvenjärvi, S., A. Vanhatalo, P. Huhtanen, and T. Varvikko. 2000. Determination of reticulo-rumen and whole-stomach digestion in lactating cows by omasal canal or duodenal sampling. *British Journal of Nutrition* 83: 67–77.
- Akpinar, N., Akpinar, A., M. & Turkoglu, S. 2001. Total lipid content and fatty acid composition of the seeds of some *Vicia L.* species. *Food Chemistry* 74: 449–453.
- Allen, M. S. 1996. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of Animal Science* 74: 3063-3075.
- Allen, M. S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 83: 1598-1624.
- AOAC. 1995. Official methods of analysis, 16th edition. Association of official analytical chemists, Arlington, VA, USA.
- Arbaoui, M. & Link W. 2008. Effect of hardening on frost tolerance and fatty acid composition of leaves and stems of a set of faba bean (*Vicia faba L.*) genotypes. *Euphytica* 162: 211-219.
- Barker, S. B. & Summerson, W. H. 1941. The colorimetric determination of lactic acid in biological materials. *The Journal of Biological Chemistry* 138: 537–554.
- Bauman, D. & Griinari, M. 2003. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annual Review of Nutrition* 23: 203–227.
- Bell, A. W., Burhans, W. S. & Overton, T. R. 2000. Protein nutrition in late pregnancy, maternal protein reserves and lactation performance in dairy cows. *Proceedings of the Nutrition Society* 59: 119–126.
- Bertilsson, J., Dewhurst, R. J. & Tuori, M. 2001. Effects of legume silages on feed intake, milk production and nitrogen efficiency. *Landbauforschung Völkenrode Sonderheft* 234: 39–45.
- Botts, R. L., Hemken, R. W. & Bull, L. S. 1979. Protein reserves in the lactating dairy cow. *Journal of Dairy Science* 62:433-440.
- Boufaïed, H., Chouinard, P. Y., Tremblay, G. F., Petit, H. V., Michaud, R. & Bélanger, G. 2003. Fatty acids in forages. I. Factors affecting concentrations. *Canadian Journal of Animal Science* 83: 501-511.
- Broderick, G. A. 2003. Effects of Varying Dietary Protein and Energy Levels on the Production of Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 86: 1370–1381.

- Chen, P., Ji, P. & Li, S. L. 2008. Effects of feeding extruded soybean, ground canola seed and whole cottonseed on ruminal fermentation, performance and milk fatty acid profile in early lactation dairy cows. *Asian-Australian Journal of Animal Science* 2: 204–213.
- Chen, X. B. & Gomez, M. J. 1992. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives - an overview of the technical details. <http://www.macaulay.ac.uk/IFRU/pdf/chema.pdf>. Occasional Publication 1992. International Feed Resources Unit, Aberdeen, Iso-Britannia. Viitattu 1.12.2015.
- Castillo, A. R., Kebreab, E., Beever, D. E. & France, J. 2000. A review of efficiency of nitrogen utilization in lactating dairy cows and its relationship with environmental pollution. *Journal of Animal and Feed Sciences* 9: 1-32.
- Collomba, M., Sollbergera, H., Butikofer, U., Siebera, R., Stoll, W. & Schaerena, W. 2004. Impact of a basal diet of hay and fodder beet supplemented with rapeseed, linseed and sunflowerseed on the fatty acid composition of milk fat. *International Dairy Journal* 14: 549–559.
- Crepón, K., Magret, P., Peyronnet, C., Carrouée, P., Arese, P. & Duc, G. 2010. Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crops Research* 115: 329-339.
- Dewhurst, R. J., Scollan, N. D., Youell, S. J., Tweed J. K. S. & Humphreys M. O. 2001. Influence of species, cutting date and cutting interval on the fatty acid composition of grasses. *Grass and Forage Science* 56: 68-74.
- Dewhurst, R. J., Fisher, W. J., Tweed, J. K. S & Wilkins, R. J. 2003a. Comparison of grass and legume silages for milk production. 1. Production responses with different levels of concentrate. *Journal of Dairy Science* 86: 2598-2611.
- Dewhurst, R. J., Evans, R. T., Scollan, J. M., Moorby, J. M., Merry, R. J & Wilkins, R. J. 2003b. Comparison of grass and legume silages for milk production. 1. In vivo and in sacco evaluations of rumen function. *Journal of Dairy Science* 86: 2612-2621.
- Dewhurst, R. J., Shingfield, K. J, Lee, M. R. F & Scollan, N. D. 2006. Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Animal Feed Science and Technology* 131: 168–206.

- Dewhurst, R. J., Delaby, L., Moloney, A., Boland, T. & Lewis, E. 2009. Nutritive value of forage legumes used for grazing and silage. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 48: 167–187.
- Dijkstra, J., Boer, H., van Bruchem, J., Bruining, M. & Tamminga, S. 1993. Absorption of volatile fatty acids from the rumen of lactating dairy cows as influenced by volatile fatty acid concentration, pH and rumen liquid volume. *British Journal of Nutrition* 69: 385-396.
- Dijkstra, J., Reynolds, C. K., Kebreab, E., Bannink, A., Ellis, J. L., France, J. & van Vuuren, A. M. 2013. Challenges in ruminant nutrition: towards minimal nitrogen losses in cattle. *Energy and Protein metabolism and nutrition in sustainable animal production. EAAP julkaisu* 134.
- Drackley, J., K. 2004. *Lipid metabolism*. Teoksessa: O'Mello, J., P., F. *Farm animal metabolism and nutrition*. CABI Publishing. CPI Antony Rowe, Eastbourne, Iso-Britannia. 438 s.
- Edmonson, A. J., Lean, I. J., Weaver, L. D., Farver, T. & Webster, G. 1998. A body condition scoring chart for holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 2: 68-78.
- Elgersma, A., Maudet, P., Witkowska, I. M. & Wever, A. C. 2005. Effects of nitrogen fertilisation and regrowth period on fatty acid concentrations in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Annals of Applied Biology* 147:145–152.
- Faulkner, J. S., 1985. A comparison of faba beans and peas as whole-crop forages. *Grass and Forage Science* 40: 161-169.
- 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.
- Friedel, K. 1990. Die Schätzung des energetischen Futterwertes von Grobfutter mit Hilfe einer Cellulasemethode. [The estimation of the energetic feeding value of roughages by means of a cellulase method]. *Wissenschaftliche Zeitung Universität Rostock, N-Reihe* 39: 78–86.
- George, S. K., Dipu, M. T., Mehra, U. R., Singh, P., Verma, A. K. & Ramgaokar, J. S. 2006. Improved HPLC method for the simultaneous determination of allantoin, uric acid and creatinine in cattle urine. *Journal of Chromatography B*. 832: 134 – 137.
- Grela, E. R & Günter, K., D. 1995. Fatty acid composition and tocopherol content of some legume seeds. *Animal Feed Science and Technology* 52: 325-331.

- Haag, T. 2007. Åkerböna i samodling med vårvete som helgrödesensilage till mjölkkor. Field beans cultivated together with spring wheat as whole-crop silage to dairy cows. Examensarbete. SLU, Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap. 71 s.
- Halmemies-Beauchet-Filleau, A. 2013. Role of forage species and conservation method in ruminal lipid metabolism, mammary lipogenesis and milk fatty acid composition in lactating cows. Tohtorin väitöskirja, Helsingin Yliopisto, kotieläintieteen laitos. Helsinki, Suomi. 74 s.
- Halmemies-Beauchet-Filleau, A., Vanhatalo, A., Toivonen, V., Heikkilä, T., Lee, M. R. F. & Shingfield, K. J. 2014. Effect of replacing grass silage with red clover silage on nutrient digestion, nitrogen metabolism, and milk fat composition in lactating cows fed diets containing a 60:40 forage to concentrate ratio. *Journal of Dairy Science* 97: 3761–3776.
- Huhtanen, P. 1998. Supply of nutrients and productive responses in dairy cows given diets based on restrictively fermented silage. *Agricultural and Food Science in Finland* 7: 219–250.
- Huhtanen, P., Nousiainen, J. & Rinne, M. 2006. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications. *Agricultural and Food Science* 15: 293–323.
- Huhtanen, P., Rinne, M., Nousiainen, J. 2007. Evaluation of factors affecting silage intake of dairy cows: a revision of the relative silage dry-matter intake index. *Animal* 1: 758-770.
- Huhtanen, P., Nousiainen, J., Rinne, M., Kytölä, K. & Khalili, H. 2008. Utilization and partition of dietary nitrogen in dairy cows fed grass silage-based diets. *Journal of Dairy Science* 91: 3589–3599.
- Huhtanen, P., Hetta, M. & Swensson, C. 2011. Evaluation of canola meal as a protein supplement for dairy cows: A review and a meta-analysis. *Canadian Journal of Animal. Science* 91: 529–543.
- Huhtanen, P., Jaakkola, S. & Nousiainen, J. 2013. An overview of silage research in Finland: from ensiling innovation to advances in dairy cow feeding. *Agricultural and Food science* 22: 35-56.
- Huws, S. A., Lee, M. R. F, Muetzel, S. M, Scott, M. B., Wallace, J. R. & Scollan, N. D. 2010. Forage type and fish oil cause shifts in rumen bacterial diversity. *FEMS Microbiology Ecology* 73: 396–407.

- Ingalls, J. R., Sharma, H. R., Devlin, T. J., Bareeba, F. B. & Clark, K. W. 1979. Evaluation of whole plant fababean forage in ruminant rations. *Canadian Journal of Animal Science* 59: 291–301.
- Jaakkola, S., Saarisalo, E. & Heikkilä, T. 2009. Formic acid treated whole crop barley and wheat silages in dairy cow diets: effects of crop maturity, proportion in the diet, and level and type of concentrate supplementation. *Agricultural and Food Science* 18: 234–256.
- Jenkins, T. C. 1993. Lipid Metabolism in the Rumen. *Advances in ruminant lipid metabolism-symposiumi. Journal of Dairy Science* 76: 3851-3863.
- Kairenius, P., Toivonen, V., Ahvenjärvi, S., Vanhatalo, A., & Shingfield, K. J. 2008. Rypsirehujen vaikutus maidon rasvahappokoostumukseen. *Maataloustieteen Päivät 2008, 10.-11.1. 2008. Esitelmät ja posterit.*
- Kaukovirta-Norja, A., Leinonen, A., Mokka, M., Wessberg, N. & Niemi, J. 2015. Tiekartta Suomen proteiiniomavaraisuuden parantamiseksi. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/visions/2015/V6.pdf>. Helsinki, Suomi: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Julkaistu 2015, viitattu 1.12.2015.
- Koivunen, E., Jaakkola, S., Heikkilä, T., Lampi, A.-M., Halmemies-Beauchet-Filleau, A., Lee, M. R. F., Winters, A. L., Shingfield, K. J. & Vanhatalo, A. 2015. Effects of plant species, stage of maturity, and level of formic acid addition on lipolysis, lipid content, and fatty acid composition during ensiling. *Journal of Dairy Science* 93: 4408–4423.
- Kuoppala, K., Ahvenjärvi, S., Rinne, M. & Vanhatalo, A. 2009. Effects of feeding grass or red clover silage cut at two maturity stages in dairy cows. 2. Dry matter intake and cell wall digestion kinetics. *Journal of Dairy Science* 92: 5634–5644.
- Kuoppala, K., Lötjönen, T., Saarinen, E., Suomela, R., Hyrkäs, M. & Huuskonen, A. 2014a. Palkokasviviljakasvustojen satoisuus ja rehuarvo. *Edistystä luomutuotantoon – loppuraportti. MTT Raportti 175. 109 s.*
- Kuoppala, K., Rinne, M., Lötjönen, T. & Huuskonen, A. 2014b. Palkokasveja sisältävien kokoviljasäilörehujen rehuarvon tarkentaminen ruokinnan optimoimiseksi. *Edistystä luomutuotantoon – loppuraportti. MTT Raportti 175. 109 s.*
- Larsen, M., Lund, P., Weisbjerg, M. R. & Hvelplund, T. 2009. Digestion site of starch from cereals and legumes in lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 153: 236-248.

- Lock, A. I. & Shingfield, K. J. 2004. Optimising milk composition. Teoksessa Dairying – using science to meet consumers’ needs. Toimittaneet Kebreab E., Mills, J., Beever, D., British Society of Animal Science, Publication 29, Nottingham University Press, Loughborough (Iso-Britannia), s. 107–188.
- Louw, A.W, 2009. The nutritive value of fababean silage for lactating dairy cows. Maisterin tutkielma. Department of Animal Sciences. Faculty of AgriScience Stellenbosch University.
- Luke. 2015. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. Luonnonvarakeskus, Jokioinen. Verkkojulkaisu: <http://www.mtt.fi/rehutaulukot>.
- Markkanen, A. 2014. Hernekaura- ja härkäpapukaurasäilörehu lypsylehmien ruokinnassa. Kotieläinten ravitsemustieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, maataloustieteiden laitos. 35 s.
- McCullough, H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clinica Chimica Acta* 17: 297–304.
- McDonald, P. 2002. *Animal Nutrition*. 6. painos. Lontoo, New York: Longman. 543 s.
- McKnight, D. R. & Macleod, G. K. 1977. Value of whole plant faba bean silage as the sole forage for lactating cows. *Canadian Journal of Animal Science* 57: 601–603.
- Moisio, T. & Heikonen, M. 1992. Analyysitulosten tulkinta ja rehun laadun arviointi. Teoksessa *Aiv-rehun perusteet*. Tammer-Paino Oy, Tampere, Suomi, s. 125–141.
- 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.
- Nousiainen, J., Rinne, M., Hellämäki, M. & Huhtanen, P. 2003. Prediction of the digestibility of the primary growth of grass silages harvested at different stages of maturity from chemical composition and pepsin-cellulase solubility. *Animal Feed Science and Technology* 103: 97-111.
- Nousiainen, J., Shingfield, K.J. & Huhtanen, P. 2004. Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding. *Journal of Dairy Science* 87: 386–398.
- Olmos Colmenero, J. J. & Broderick, G. A. 2006. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89: 1704-1712.

- Palmio, A., Sairanen, A., Kuoppala, K. & Rinne, M. 2016. Härkäpapusäilörehu lypsylehmien ruokinnassa. Poster. Maataloustieteen päivät 2016. Suomen maataloustieteellisen seuran julkaisu no 32: 189.
- Pursiainen, P. & Tuori, M. 2006. Replacing grass silage with pea-barley intercrop silage in the feeding of the dairy cow. *Agricultural and Food Science* 15: 235-251.
- 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 inoculants on fermentation characteristics. *Grass and Forage Science* 63: 60-78.
- Rinne, M., Huhtanen, P., Nousiainen, J. 2008. Säilörehun ja koko rehuannoksen syöntiindeksit auttavat lypsylehmien ruokinnan suunnittelussa. *Maataloustieteen Päivät 2008*.
https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Rehutaulukot/Tietosiilo/Laskurit/Sailorehulle_syonti_indeksi/MTP2008_syonti_indeksit.pdf. Viitattu 5.1.2016.
- Rinne, M., Kuoppala, K., Ahvenjärvi, S. & Vanhatalo, A. 2015. Dairy cow responses to graded levels of rapeseed and soya bean expeller supplementation on a red clover/grass silage-based diet. *Animal*: 1 – 12.
- Rooke, J. A., Rymer, C., Maya, F. A. & Armstrong, D. A. 1992. Effect of including barley or molassed sugar beet feed in grass silage diets on their digestion by cattle and sheep. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 58: 475-483.
- Saarinen, E., Salo, K., Virkajärvi, P., Hyrkäs, M., Suomela, R., Pesonen, M., Niskanen, M. & Huuskonen, M. 2012. Vaihtoehtoisia rehukasveja nautakarjatilaille – ruutukoeket. Teoksessa *Nautatilojen rehukasvivalikoima suuremmaksi – Tuloksia InnoNauta –hankkeen tutkimuksista*. MTT raportti 77. Jokioinen, Suomi: 31-39.
- 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.
- Salo, M.-L. 1965. Determination of carbohydrate fractions in animal foods and faeces. *Acta Agraria Fennica* 105: 1–102.
- Salo, M.-L. & Salmi, M. 1968. Determination of starch by the amyloglucosidase method. *The Journal of Scientific Agricultural Society of Finland* 40: 38–45.
- Seppälä, A., Kuusisto, K., Mäki, M. & Rinne, M. 2015. Eri säilöntäaineiden soveltuvuus härkäpapevehnä- ja hernevehnäkokoviljojen säilöntään. *Edistystä luomutuotantoon – loppuraportti*. MTT Raportti 175. 109 s.

- Sjaastad, O. V., Sand, O. & Hove, K. 2010. Physiology of domestic animals. 2nd edition. Oslo: Scandinavian Veterinary Press. 804 s.
- Shingfield, K. J, Bernard, L., Leroux, C. & Chilliard, Y. 2010. Role of trans fatty acids in the nutritional regulation of mammary lipogenesis in ruminants. *Animal* 4: 1140-1166.
- Smith, L. W, Goering, H. K. & Gordon, C. H. 1972. Relationships of forage compositions with rates of cell wall digestion and indigestibility of cell walls. *Journal of Dairy Science* 55: 1140-1148.
- Somogyi, M. 1945. A new reagent for the determination of sugars. *Journal of Biological Chemistry* 160: 61–68.
- Stamm, M., 2015. Effects of different microalgae supplements on fatty acid composition, oxidation stability, milk fat globule size and phospholipid content of bovine milk. *Elintarviketeknologian maisteritutkielma*. Helsingin yliopisto, elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, EMFOL –ohjelma. 86 s.
- Sutton, J. D. 1985. Digestion and Absorption of Energy Substrates in the Lactating Cow. *Journal of Dairy Science* 68: 3376-3393.
- Sutton, J. D, Dhanoa, M. S., Morant, S. V., France, J., Napper, D. J. & Schuller, E. 2003. Rates of production of acetate, propionate, and butyrate in the rumen of lactating dairy cows given normal and low-roughage diets. *Journal of Dairy Science* 86: 3620–3633.
- Syrjälä-Qvist, L., Pekkarinen, E. & Setälä, J. 1984. Vihanta herne ja härkäpapu sekä niiden viljaseos säilörehun raaka-aineena. *Kotieläintieteen laitoksen tiedote No 4*. Helsinki: Kotieläintieteen laitos Helsingin yliopisto. 55 s.
- Termonen, T. 2015. Härkäpapu-kevätvehnäsäilörehun ja rypsin määrän vaikutus lypsylehmän maitotuotukseen ja aineenvaihduntaan. *Maisteritutkielma*. Maataloustieteiden laitos, Helsingin Yliopisto. 61 s.
- Valio 2008. *Maidon laatukäsikirja*. Helsinki. Suomi.
- Vanhatalo, A., Shingfield, K., Pahkala, E. Salo-Väänänen, P., Korhonen, H., Piironen, V. & Huhtanen, P. 2004. Rypsi ja soija lypsylehmien valkuaislähteenä. *Maataloustieteen päivät 2004*. [www. agronet.fi/maataloustieteellinen seura](http://www.agronet.fi/maataloustieteellinen_seura). Viitattu 28.1.2016.
- Vanhatalo, A., Kuoppala, K., Toivonen, V. & Shingfield, K. 2007. Effects of forage species and stage of maturity on bovine milk fatty acid composition. *European Journal of Lipid Science and Technology* 109: 856–867.

- Vanhatalo, A., Kuoppala, K., Ahvenjärvi, S. & Rinne, M. 2009. Effects of feeding grass or red clover silage cut at two maturity stages in dairy cows. 1. Nitrogen metabolism and supply of amino acids *Journal of Dairy Science* 92: 5620–5633.
- Van Keulen, J. & Young, B. A. 1977. Evaluation of insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science* 44: 282-287.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B. & Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583–3597.
- Welch, R. W. 1974. Fatty acid composition of grain from winter and spring sown oats, barley and wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 26: 429-435.