

**META-ANALYYSI NURMIPALKOKASVISÄILÖREHUN
VAIKUTUKSISTA LYPSYLEHMIEN MAITOTUOTOKSEEN JA
TYPPIPÄÄSTÖIHIN**

Hanna-Kaisa Ruuskanen
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden osasto
Kotieläinten
ravitsemustiede
Toukokuu 2020

Tiedekunta Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Osasto Maataloustieteiden osasto
Tekijä Hanna-Kaisa Ruuskanen		
Työn nimi Meta-analyysi nurmipalkokasvisäilörehun vaikutuksista lypsylehmien maitotuotokseen ja typpipäästöihin		
Oppiaine Kotieläinten ravitsemustiede		
Työn laji Maisterintutkielma	Aika Toukokuu 2020	Sivumäärä 64
<p>Tiivistelmä</p> <p>Maataloudesta aiheutuu vuosittain noin 12 % maamme kasvihuonekaasupäästöistä. Kasvihuonekaasuista dityppioksidi (N₂O) on ilmakehää voimakkaasti lämmittävä kaasu. Karjanlannasta haihtuva ammoniakki (NH₃) huonontaa ilmanlaatua muodostaen pienhiukkasia. Lisäksi nitraatti-ioneja (NO₃⁻) voi huuhtoutua maaperästä vesistöihin ja aiheuttaa yhdessä fosforin kanssa rehevöitymistä. Maataloudesta peräisin olevaa ilmastokuormitusta on tärkeä vähentää, koska sen osuus kokonaispäästöistä kasvaa maailmanlaajuisesti joka vuosi.</p> <p>Meta-analyysin aineisto koostui 21 vertaisarvioidusta tieteellisestä tutkimuksesta, joissa nurmiheinä- tai maissisäilörehua oli korvattu kokonaan tai osittain nurmipalkokasvisäilörehulla. Tutkimuksen tavoitteena oli vertailla lypsylehmien typpipäästöjen määrää ja jakautumista eri kasvilajeihin perustuvilla karkearehuruokinoilla. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös palkokasvin osuuden vaikutusta lypsylehmien rehun syöntiin, dieetin raakavalkuaispitoisuuteen, maitotuotokseen ja maidon koostumukseen. Tarkasteltavat muuttujat analysoitiin SAS-ohjelmiston Proc Mixed- proseduurilla, käyttäen regressioanalyysiä sekä lineaarista ja toisen asteen sekamallia.</p> <p>Tutkimuksessa palkokasvin osuuden lisääminen kasvatti eläinten typen saantia. Nurmiheinäsäilörehun korvaaminen apilalla lisäsi typen erityksen määrää virtsassa ja sonnassa sekä kasvatti virtsan ja vähensi maidon osuutta typen erityksestä. Apilan osuuden kasvattaminen lisäsi maitotuotosta, mutta vähensi maidon rasvapitoisuutta.</p> <p>Vastaavasti maissisäilörehun korvaaminen apilalla lisäsi typen eritystä sonnassa. Samalla maidossa erittyvä typen osuus väheni. Virtsassa erittyvän typen määrään tai osuuteen apilan osuudella ei ollut vaikutusta. Apilan osuuden kasvaessa maito ja EKM-tuotos vähenivät käyräviivaisesti.</p> <p>Kun maissisäilörehua korvattiin sinimailasella, maito- ja EKM-tuotokset kasvoivat, kunnes sinimailasan osuus oli noin 30 % dieetin kuiva-aineesta ja kääntyivät sen jälkeen laskuun. Sinimailanen lisäsi typen eritystä sonnassa, mutta vähensi maidon ja virtsan osuutta typen erityksestä.</p> <p>Tulosten perusteella nurmiheinä- tai maissisäilörehun korvaaminen nurmipalkokasvisäilörehulla heikentää typen hyväksikäyttöä. Tämä näkyy lisääntyneenä typen erityksenä virtsassa tai sonnassa kasvilajista riippuen. Lypsylehmien karkearehuruokinnan typpipäästöjä voidaan hallita rajoittamalla nurmipalkokasvien osuutta dieetissä.</p>		
Avainsanat Nurmipalkokasvisäilörehu, apila, sinimailanen, nurmiheinäsäilörehu, maissisäilörehu		
Säilytyspaikka Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto		
Muuta tietoa Työtä ohjasivat yliopistonlehtori Tuomo Kokkonen ja professori Aila Vanhatalo		

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Department Department of Agricultural Sciences	
Author Hanna-Kaisa Ruuskanen			
Title A meta-analysis of the effects of legume silages on milk production and nitrogen emissions in dairy cows			
Subject Animal nutrition			
Level Master's thesis	Month and year May 2020	Number of pages 64	
<p>Abstract</p> <p>Agriculture contributes greenhouse gas emissions (GHG) to the environment. Agricultural emissions represent 12 % of total GHG emissions in Finland. Nitrous oxide (N₂O) has atmospheric lifetime of 110 years and its global warming potential is higher than that of carbon dioxide. Ammonia (NH₃) emitted from animal manure is a major air pollutant contributing the formation of aerosols. Nitrate (NO₃⁻) leaching to ground and surface waters together with phosphorus (P) could cause eutrophication. It is important to decrease these emissions because global emissions from agriculture continues to increase every year.</p> <p>The relationship between nitrogen intake and nitrogen excretion was investigated using data from 21 peer-reviewed publications. The objective of this research was to evaluate how dietary proportion of legume silages affect the partitioning of nitrogen excretion between urine, feces and milk in dairy cattle. Effects of legume silage proportion on dry matter intake (DMI), crude protein level, milk yield, energy corrected milk yield (ECM) and milk components were also investigated. The statistical analysis was conducted using regression analysis with linear and quadratic mixed models.</p> <p>Increased legume content in the diet increased nitrogen intake. Replacement of grass silage with clover silage increased the amount of nitrogen excreted in urine and feces, and increased the proportion of nitrogen excreted in urine. At the same time the proportion nitrogen excreted in milk decreased. Clover increased milk yield but milk fat concentration decreased.</p> <p>Replacement of maize silage with clover silage increased nitrogen excretion in feces. The proportion of nitrogen excreted in milk decreased. Urine N excretion (g/d or %) was not affected by the level of clover in the diet. Quadratic model showed that increasing the proportion of clover in the diet decreased milk and ECM yields curvilinearly.</p> <p>When maize silage was replaced with alfalfa silage milk and ECM yields increased curvilinearly to the point where alfalfa proportion reached 30 % of the dietary dry matter. Alfalfa also increased fecal N excretion but nitrogen excretion in urine and milk decreased.</p> <p>According to the results replacement of grass or maize silage with legume silage decrease nitrogen efficiency. This is evidenced by the low efficiency of converting dietary nitrogen into milk nitrogen, with a concomitant increase in urine or fecal N.</p>			
Keywords Legume silage, clover, alfalfa, grass silage, maize silage			
Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Further information Supervisors were university lecturer Tuomo Kokkonen and professor Aila Vanhatalo			

Sisällys

LYHENTEET	5
1 JOHDANTO	6
2 NAUTA TYPPIPÄÄSTÖJEN AIHEUTTAJANA	7
2.1 Lypsylehmän kyky hyväksikäyttää typpeä	7
2.1.1 Virtsan typpi.....	8
2.1.2 Sonnan typpi	9
2.1.3 Typen saannin indikaattorit.....	10
2.2 Karkearehuruokinnan vaikutus typpipäästöihin	11
3 TYPPIPÄÄSTÖJEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	12
3.1 Ilmastonmuutos	13
3.2 Vesistöjen rehevöityminen	14
4 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	14
5 AINEISTO JA MENETELMÄT	15
5.1 Aineiston luokittelu	18
5.2 Energiansaannin ja EKM-tuotoksen täydennys	18
5.3 Typen hyväksikäyttöön liittyvien muuttujien täydennys	19
5.4 Tilastollinen analyysi	20
6 TULOKSET	21
6.1 Nurmipalkokasvin osuuden vaikutus dieetin koostumukseen ja tuotokseen 22	
6.2 Nurmipalkokasvin osuuden vaikutus typen saantiin ja eritykseen	24
6.3 Apilasäilörehun vaikutus korvattaessa nurmiheinäsäilörehua	27
6.4 Apilasäilörehun vaikutus korvattaessa maissisäilörehua	31
6.5 Sinimaillassäilörehun vaikutus korvattaessa maissisäilörehua	36
7 TULOSTEN TARKASTELU	43
7.2 Apilasäilörehun vaikutus korvattaessa nurmiheinäsäilörehua	45
7.2.1 Maitotuotos ja maidon koostumus	46
7.2.2 Typen erityis.....	47
7.3 Apilasäilörehun vaikutus korvattaessa maissisäilörehua	48
7.3.1 Maitotuotos ja maidon koostumus	49
7.3.2 Typen erityis.....	50
7.4 Sinimaillassäilörehun vaikutus korvattaessa maissisäilörehua	51
7.4.1 Maitotuotos ja maidon koostumus	51
7.4.2 Typen erityis.....	52
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	53
LÄHTEET	55

LYHENTEET

N	Typpi
N ₂	Dityppi (typpikaasu)
N ₂ O	Dityppioksidi, typpioksiduuli (ilokaasu)
NH ₃	Ammoniakki
rv	Raakavalkuainen
ka	Kuiva-aine
EKM	Energiakorjattu maitotuotos

1 JOHDANTO

Maatalousmaalle levitettyjen lannoitteiden sisältämästä typestä osa huuhtoutuu vesistöihin ja aiheuttaa yhdessä fosforin kanssa vesistöjen rehevöitymistä (Suomen ympäristökeskus 2017). Vastaavasti ilmaan haihtuvat typen yhdisteet kiihdyttävät ilmastonmuutosta ja huonontavat ilmanlaatua (Kroeze ja Bowman 2011). Ympäristön kannalta on tärkeää pystyä vähentämään maataloustuotannosta aiheutuvaa ympäristökuormitusta. Kotieläintuotannossa tämä tarkoittaa typpi- ja fosforipäästöjen vähentämistä.

Lypsylehmistä aiheutuvia typpipäästöjä voidaan hallita pääasiassa kahdella eri tavalla. Lehmä saa typpeä syömänsä rehun kautta, joten vähentämällä valkuaisruokintaa, voidaan vaikuttaa typen eritykseen. Typen erityksen vähentämiseksi valkuaisen saannin sopeuttaminen eläimen tuotostasoon, kasvuun ja hyväksikäyttöön on tärkeää. Myös lypsylehmien karkearehuruokinnassa käytettävän kasvilajin valinnalla voidaan vaikuttaa typen eritykseen, koska eri kasvilajit sisältävät eri määrän valkuaista (Luonnonvarakeskus 2018b). Rehutaulukoiden (Luonnonvarakeskus 2018b) mukaan nurmipalkokasveista puna-apila ja sinimailanen sisältävät raakavalkuaista 180 - 230 g/kg ka. Hajoavan valkuaisen osuus on sinimailasessa (0,85) hieman puna-apilaa (0,80) suurempi. Vastaavasti nurmiheinäsäilörehun raakavalkuaispitoisuus on 120 - 175 g/kg ka ja maissisäilörehun 87 g/kg ka.

Heinäkasvit ovat edelleen yleisin säilörehun raaka-aine Suomessa, mutta puna-apila ja sinimailanen ovat kasvattaneet suosiotaan säilörehukasveina (Ruokavirasto 2019). Nurmipalkokasveina apila ja sinimailainen kykenevät sitomaan ilmakehän typpeä juuristossaan symbioosissa elävien *Rhizobium*-bakteerien avulla (Fred ym. 2002). Nurmiheinien ohella rehumaisiin käyttö säilörehukasvina tulee yhä ajankohtaisemmaksi ilmaston muuttuessa maissille suotuisampaan suuntaan. Rehumaisia viljeltiin Suomessa 779 peltohehtaaria vuonna 2018. Maissin viljelyala on kasvanut viimeisen neljän vuoden aikana 360 hehtaaria (Ruokavirasto 2019).

2 NAUTA TYPPIPÄÄSTÖJEN AIHEUTTAJANA

Suomessa maataloudesta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen määrä oli vuonna 2017 noin 6 501 Mt CO₂-ekv. Tämä tarkoittaa noin 12 % Suomen kokonaispäästöistä. Maataloussektorin päästöt vähenivät 1990-luvulla, mutta eivät ole vähenneet enää 2000-luvulla (Luonnonvarakeskus 2019). Maailmanlaajuisessa tarkastelussa maataloussektorin päästöjen määrä on melkein kaksinkertaistunut viimeisen viidenkymmenen vuoden aikana (FAOSTAT 2014). FAOSTAT:in (2018) mukaan vuosien 1990 - 2017 välillä märehtijöiden ruuansulatuskanavassa tapahtuvasta fermentaatiosta (40 %) ja laitumelle jätetystä lannasta (15 %) aiheutui 55 % koko maataloussektorin kasvihuonekaasupäästöistä.

Suurin osa maataloussektorin typpipäästöistä aiheutuu nautojen sonnasta ja virtsasta. Luostarinen ym. (2017) arvioivat, että naudat erittävät Suomessa vuosittain noin 870 000 tonnia virtsaa. Lantaa syntyi kokonaisuudessaan noin 9,9 miljoonaa tonnia vuodessa, johon kuuluvat kaikki eri lantamuodot lietelannasta kuivalantaan. Arvio ei sisällä laitumelle tai ulkotarhoihin jäävää lantaa, joka on erittäin altis typen haihtumiselle. Vuosittaiseksi typpipäästöjen määräksi nautojen virtsasta ja sonnasta Luostarinen ym. (2017) arvioivat noin 54 000 tonnia.

Ympäristöön kaasuna tapahtuvia typen päästöjä voidaan hallita tehokkaimmin sonnan ja virtsan huolellisella käsittelyllä (Johnson ym. 2016). Sonnan ja virtsan käsittelyä, varastointia ja levitystä varten on säädetty erikseen kansallisessa lainsäädännössä vähimmäisvaatimuksia. Nitraattiasetus (VN 2014) sisältää karjanlannan varastointia ja levitystä koskevia säädöksiä, joiden tarkoituksena on suojella ympäristöä. Asetuksessa rajataan muun muassa eri kasvilajeille lannoitteena käytettävän liukoisen typen vuotuiset enimmäismäärät.

2.1 Lypsylehmän kyky hyväksikäyttää typpeä

Märehtijän ruuansulatuksen tärkeässä osassa ovat eläimen pötsissä elävät mikrobit (Van Soest 1994). Niiden avulla märehtijä kykenee sulattamaan selluloosaa, jota yksimahaiset eivät kykene hyödyntämään. Van Soestin (1994) mukaan pötsimikrobit hajottavat myös kasvien sisältämää valkuaisista, jota ne käyttävät omana valkuaisen lähteenään. Mikrobit syntetisoivat aminohapoista ja ammoniakista itse valkuaisaineita eli niin sanottua

mikrobivalkuaista. Osa pötsissä hajotetusta valkuaisesta imeytyy verenkiertoon ammoniakkinä (NH_3). Plasman mukana ylimääräinen ammoniakki siirtyy maksaan, jossa se muutetaan ureaksi. Osa syntyneestä ureasta kierrätetään takaisin verenkierron mukana sylkeen ja osa eritetään pois maidossa sekä virtsassa. Pötsissä hajoamattomasta valkuaisesta ja mikrobivalkuaisesta osa imeytyy ohutsuolesta märehitjän elimistöön. Ruuansulatuskanavassa sulamaton ja imeytymätön valkuainen eritetään sonnan mukana pois elimistöstä. Broderickin ja Albrechtin (1997) ja Dewhurstin ym. (2003) mukaan lypsylehmä kykenee hyödyntämään syömästään typestä keskimäärin 20-30 %. Steinfeld ym. (2006) havaitsivat, että suurilla dieetin raakavalkuaispitoisuuksilla jopa puolet typestä eritetään virtsassa.

Typipäästöjä voidaan hillitä alentamalla dieetin raakavalkuaisen pitoisuutta, mutta lypsylehmä tarvitsee valkuaista kasvuun ja tuotokseen (Patton ym. 2014). Liian rajoitettu valkuaisruokinta vähentää merkittävästi eläimen tuotosta. Lisäksi Steinfeld ym. (2006) muistuttavat, että virtsa ja sonta voidaan levittää orgaanisena lannoitteena ja maanparannusaineena pellolle. Tällöin osa sontaan ja virtsaan siirtyneestä typestä voidaan uudelleen hyväksikäyttää. Typpi siirtyy maaperään ja on sitä kautta osa pellon sadonmuodostusta. Samalla voidaan vähentää teollisesti valmistettujen lannoitteiden käyttöä ja parantaa peltomaan ravinnetaloutta luonnollisella tavalla. Sadon typpi siirtyy rehussa uudelleen lehmään ja kierto alkaa alusta. Valitettavasti osa typestä hukataan kierron aikana ilmaan haihtuvana dityppioksidina (N_2O).

2.1.1 Virtsan typpi

Lehmien virtsan sisältämä typpi on alttiimpaa kaasuna tapahtuvalle typen haihtumiselle kuin sonnan typpi. Kaasuina typen yhdisteistä haihtuvat erityisesti ammoniakki ja dityppioksidi. Vastaavasti maaperästä typpi huuhtoutuu vesistöihin pääosin nitraatti- (NO_3^-) ja ammonium-ioneina (NH_4^+) (Zaman ja Blennerhassett 2010, Velthof ym. 2015).

Alandin ym. (2002) tutkimuksessa lypsylehmät virtsasivat keskimäärin 2 - 20 kertaa päivässä. Virtsaukertojen vaihtelulle ei ole löydetty selittävää tekijää eli se ei johdu eläimen tuotostasosta, aktiivisuudesta, ruokinnasta tai juodun veden määrästä (Robichaud ym. 2011). Virtsassa suurin osa typestä (52 - 94 %) on ureana. Dijkstran ym. (2013) mukaan eritetyn virtsan määrä vaihtelee eläimen ruokintatason ja ruokinnassa käytettyjen kasvilajien mukaan. Lypsylehmä tuottaa virtsaa keskimäärin 10 litraa päivässä ja

virtsassassa on typpeä 2,0 - 20,5 g/litrassa. Virtsa sisältää urean lisäksi myös muita typpeä sisältäviä yhdisteitä kuten hypoksantiinia, virtsahappoa ja allantoiinia. Näiden puriinijohdannain muodostus tapahtuu maksassa ja ne sisältävät typpeä noin 0,05 - 1,1 g/l.

Spek ym. (2012a) tutkivat, että lisäämällä virtsan eritystä esimerkiksi suolan (Na) avulla, voitaisiin virtsan typpikonsentraatiota alentaa. Tällöin esimerkiksi laitumella aiheutuvaa pistekuormitusta voitaisiin vähentää (Dijkstra ym. 2013). Tutkimuksissa lisätyllä suolalla ei havaittu vaikutusta typen hyväksikäyttöön tai typen eritykseen. Pistekuormituksen vähentäminen olisi hyödyllistä, sillä laitumella 1000 kg N/ha kuormitus on mahdollista. Lisäksi kaasuna haihtuvat typen päästöt ovat suuria, koska laitumella virtsaa ei voida kerätä talteen (Zaman ja Blennerhassett 2010, Minet ym. 2018).

2.1.2 Sonnan typpi

Hellstedin ym. (2017) mukaan sonnasta haihtuu typpeä pääosin ammoniakkina. Maataloudesta vuonna 2017 arvioidaan aiheutuneen noin 28 kilotonnia ammoniakin päästöjä (Suomen ympäristökeskus 2019b). Kansallisesti tämä tarkoittaa, että arviolta 70 % NH₃-päästöistä aiheutuu nautakarjasta (Hellsted ym. 2017). Vastaavasti EU:n tasolla vuonna 2017 ammoniakin kokonaispäästöistä 92 % aiheutui maataloudesta (European Environment Agency 2019). Maatalouden NH₃-päästöjen määrä ei ole muuttunut vuosien 1990 - 2017 aikana.

Alandin ym. (2002) ja Robichaudin ym. (2011) mukaan lypsylehmä ulostaa 6 - 23 kertaa päivässä. Van Soest (1994) arvioi, että lypsylehmä erittää sonnassa typpeä noin 0,6 % päivittäisestä kuiva-aineen syönnistä. Sonnan typpi on peräisin ruuansulatuskanavassa sulamattomasta rehun tpeestä, mikrobivalkuaisen tpeestä sekä endogeenisestä erityksestä (Tamminga 1992). Tamminga (1992) ja Van Soest (1994) eivät pidä sonnassa erittyvän typen osuuden laskemista tehokkaana keinona hallita lypsykarjan typpipäästöjä.

Ammoniakkipäästöjä aiheutuu koko lannankäsittelyketjun aikana. Amon ym. (2001) havaitsivat, että haihtuvan ammoniakin määrään vaikuttaa karjanlannan varastoinnin lisäksi myös käsittely ja lannan levitysmenetelmä. Ammoniakin päästöistä 80 %:n on havaittu syntyvän lietelannan levitysvaiheessa. Pintalevitykseen verrattuna letkulevitys vähentää päästöjä 30 - 50 % ja sijoituslevitys noin 60 - 90 % (Mattila ja Joki-Tokola 2003, Chadwick ym. 2011, Hoy ym. 2014).

2.1.3 Typen saannin indikaattorit

Maidon ureapitoisuuden avulla voidaan arvioida ruokinnan typen määrän sopivuutta eläimen tarpeeseen nähden (Nousiainen ym. 2004). Ureapitoisuuden avulla voidaan päätellä, saavatko pötsimikrobit riittävästi energiaa, jotta ne pystyvät käsittelemään pötsissä hajoavaa valkuaista. Tällä tavalla voidaan arvioida typen hyväksikäyttöä ja vähentää ylimääräisen valkuaisen syöttämistä. Maidon ureapitoisuus on helppo määrittää, koska näytettä ei tarvitse ottaa määrittystä varten erikseen. Kauffman ja St-Pierre (2001) havaitsivat tutkimuksessaan vahvan positiivisen yhteyden maidon ureapitoisuuden ja virtsassa eritetyn typen välillä. Maidon ureapitoisuus on positiivisessa yhteydessä myös dieetin raakavalkuaispitoisuuteen (Broderick ja Clayton 1997).

Hofin ym. (1997) tutkimuksessa lypsylehmien maidon ureatypen pitoisuus vaihteli 9,0 - 18,3 mg/dl välillä. Samassa tutkimuksessa havaittiin, että maidon ureapitoisuuden ja typen hyväksikäytön välillä oli selkeä yhteys. Maidon ureapitoisuus kasvoi ja typen hyväksikäyttö huononi, kun dieettiin lisättiin raakavalkuaista. Jonkerin ym. (1998) mukaan sopiva ureatypen pitoisuus maidossa on noin 10 - 16 mg/dl riippuen lehmän maitotuotoksesta. Nurmisäilörehuruokinnalla maidon ureatypen pitoisuus 11,7 mg/dl riittää takaamaan pötsimikrobeille riittävän typen saannin (Nousiainen ym. 2004). Jonkerin ym. (2002) ja Powellin ym. (2010) saamien tulosten mukaan keskimäärin 20 - 35 % syödyn rehun sisältämästä tpeestä eritetään maidossa.

Pötsin ammoniakkipitoisuuden avulla voidaan myös arvioida typen hyväksikäyttöä. Korkea pötsin NH_3 -pitoisuus kertoo, että pötsissä on ylimäärä valkuaista suhteessa hiilihydraatteihin. Jos energiaa ei ole riittävästi, eivät pötsimikrobit kykene hyödyntämään kaikkea valkuaista, joten pötsin ammoniakkipitoisuus kasvaa (Gustafsson ym. 1992). McDonalidin ym. (2011) mukaan sopiva pötsin ammoniakkipitoisuus on 5,0 - 17,2 mmol/l välillä. Pötsin NH_3 -pitoisuuteen vaikuttavat dieetin valkuaispitoisuus ja valkuaisen sulavuus. Pötsin ammoniakkipitoisuus voi olla 5,0 mmol/l, jos dieetin raakavalkuaispitoisuus on alhainen ja rehun valkuainen on huonosti sulavaa. Ahvenjärvi ja Huhtanen (2018) arvioivat, että pötsin ammoniakkipitoisuudeksi riittää 2,9 mmol/l. Arvio perustui kuidun sulatukseen, jonka sulatus heikkenee tätä pienemmillä pitoisuuksilla.

2.2 Karkearehuruokinnan vaikutus typpipäästöihin

Luonnonvarakeskuksen (2018a) mukaan vuonna 2018 säilörehua viljeltiin 571 500 hehtaarilla, mikä on noin 25 % koko maan viljelypinta-alasta. Samana vuonna rehumaisia viljeltiin 779 hehtaarilla (Ruokavirasto 2019). Nurmipalkokasveista apilaa viljeltiin puhtaana kasvustona 1734 hehtaarilla ja mailasta 147 hehtaarilla (Ruokavirasto 2019).

Nurmipalkokasvit, kuten puna-apila ja sinimailanen, sisältävät enemmän valkuaista kuin nurmiheinät tai maissi. Luonnonvarakeskuksen (2018b) ylläpitämän rehutaulukon mukaan, ensimmäisen sadon nurmiheinäsäilörehu sisältää raakavalkuaista (rv) keskimäärin 145 g/kg ka. Nurmen ja apilan seoskasvustossa (50:50) raakavalkuaispitoisuus nousee 170 g/kg:aan kuiva-aineessa (ka). Puhtaassa puna-apilakasvustossa raakavalkuaispitoisuus on 205 g/kg ka ja nuppuasteella korjatussa sinimailassäilörehussa 210 g/kg ka. Maissisäilörehun raakavalkuaispitoisuus on pienin noin 87 g/kg ka. Sinimailaseen verrattuna puna-apilan sisältämä raakavalkuainen on pötsissä hitaammin hajoavassa muodossa (Nocek ja Grant 1987). Samassa tutkimuksessa todettiin, että puna-apila sisältää enemmän hajoamatonta valkuaista kuin sinimailanen.

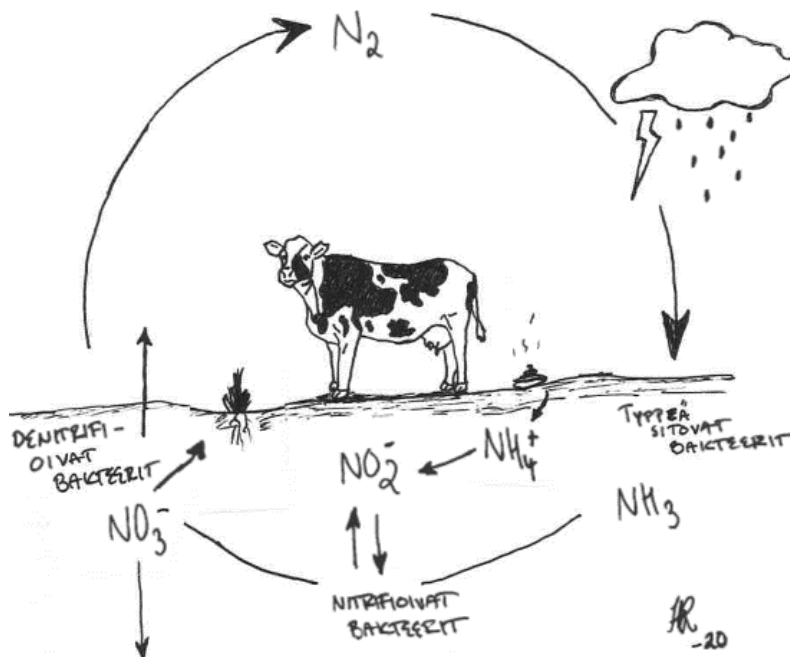
Stallcupin ym. (1974) tutkimuksessa holstein-rotuiset härät erittivät typen saannin kasvaessa enemmän typpeä sontaan. Lisäksi suuremmalla typen saannilla sonnan sisältämän kuiva-aineen määrä lisääntyi. Broderick ja Albrecht (1997) ja Dewhurst ym. (2003) havaitsivat, että nurmipalkokasvipitoinen rehu pienensi typen hyväksikäyttöä ja lisäsi lypsylehmien typen eritystä virtsassa. Broderickin ym. (2000) ja Leducin ym. (2007) mukaan sinimailaseen verrattuna puna-apilasäilörehua saaneiden lehmien maidon ureapitoisuus ja pötsin ammoniakkipitoisuus olivat melkein puolet pienempiä. Dewhurst ym. (2003) havaitsivat, että puna-apilasäilörehu suurensi lehmien maidon valkuaispitoisuutta, mutta samaan aikaan typen eritysvirtsassa kasvoi.

Moorbyn ym. (2008) mukaan paras maitotuotos saavutettiin, kun maissisäilörehua syötettiin seoksena (50:50) puna-apilasäilörehun kanssa. Samaa aikaan lypsylehmien typen saanti ja typen eritysvirtsassa lisääntyivät verrattuna puhtaaseen maissisäilörehuun. Typen hyväksikäyttö oli kuitenkin maidontuotannon kasvun myötä parempi kuin puhtaalla puna-apilarehulla. Kuoppala ym. (2009) totesivat, että maittavuutensa ansiosta puna-apilan on havaittu lisäävän maitotuotosta keskimäärin 1,3 kg/pv. Seoskasvustosta

korjatun säilörehun maittavuus on usein parempi kuin puhtaasta kasvustosta korjatun. Palkokasvien suurempi syönti johtuu erilaisesta kasvien rakenteesta ja sulavan kuidun pitoisuudesta. Nurmipalkokasvien kuitupitoisuus (NDF) on nurmiheiniä ja maissia pienempi (Dewhurst ym. 2003, Johanssen ym. 2017). Vastaavasti sulamattoman kuidun (iNDF) osuus on suurempi. Vaikka sulamattoman kuidun osuus on suurempi, palkokasvit hajoavat nopeammin pieniksi partikkeleiksi ja virtaavat pötsistä nopeammin (Kuoppala ym. 2009, Bayata ym. 2010.)

3 TYPPIPÄÄSTÖJEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Ilmakehään vapautuu typen oksideja maatalouden ohella myös teollisuudesta ja liikenteestä. Jätevesien ja ravinteiden huuhtoutumisen kautta pelloilta vesistöihin joutuu erilaisia typen yhdisteitä. Maaperän pieneliöstö hajottaa teollisten väkilannoitteiden, karjanlannan ja virtsan sisältämän ammoniakkin ensin ammoniumtypeksi (NH_4^+). Kasvit kykenevät käyttämään hyödyksi ammoniumtyppeä, mutta se voi haihtua takaisin ilmakehään ammoniakkinä. Pieneliöt muuttavat ammoniumtyppeä maaperään varastoituvaksi nitriitiksi (NO_2^-), jota kasvit eivät kykene hyödyntämään. Nitrifikaatiossa nitriitti vapautetaan jälleen kasvien hyödynnettävään muotoon eli nitraateiksi (NO_3^-) (Kuva 1). Nitraatti kuitenkin haihtuu helposti hapettomissa olosuhteissa ilmakehään typpikaasuna (N_2). Nitraatit voivat huuhtoutua myös pohjavesiin ja vesistöihin.



Kuva 1. Typen kierto (Verhulst ym. 2014).

Nurmipalkokasvit kykenevät sitomaan ilmakehässä kaasumuodossa olevaa typpeä juuristossaan symbioosissa elävien *Rhizobium*-bakteerien avulla (Fred ym. 2002). Maaperään sadonkorjuun jälkeen jääneet nurmipalkokasvin juuret toimivat typen varastona. Juurista typpeä vapautuu takaisin maaperään seuraavien viljelykasvien käyttöön.

3.1 Ilmastonmuutos

Euroopan unionin jäsenvaltiot ovat sopineet päästövähennystavoitteista, joiden avulla pyritään rikkidioksidin, typen oksidien ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästöjen hallintaan. Myös ammoniakki- ja metaanipäästöjen vähentäminen on mukana tavoitteissa. Euroopan parlamentin ja neuvoston (2016) laatimassa raportissa ilmoitetaan typen oksidien osalta Suomelle asetetut vähennystavoitteet. Ne ovat vuoteen 2005 verrattuna: vuosina 2020 - 2029 35 % ja vuodesta 2030 alkaen 47 %. Ammoniakin osalta vähennystavoite on 20 % vuodesta 2020 eteenpäin.

Suomen ympäristökeskuksen (2019b) mukaan maataloussektorin sisällä ammoniakin kokonaispäästöt jakautuvat eri sektoreille siten, että lypsylehmät tuottavat 30 %, muut naudat noin 30 %, siat 17 % ja siipikarja 7 % päästöistä. Turkiseläinten, hevosten ja lampaiden osuus on 11 %. Epäorgaanisista lannoitteista aiheutuu 4 % päästöistä. Vuonna 2016 ammoniakin kokonaispäästöt olivat Suomessa noin 32 kilotonnia.

Ammoniakin haitallisuus perustuu siihen, että yhdiste muodostaa ilmakehään pienhiukkasia reagoidessaan muiden kaasumaisten aineiden kanssa. Syntyneet pienhiukkaset ja aerosolit muuttavat säteilytasapainoa, koska ne imevät itseensä auringonvaloa (Foster ym. 2017). Pienhiukkaset muodostavat myös kestäviä pilviä. Näin ollen maapallon pinnalle ei pääse yhtä paljon säteilyä ja pienhiukkaset viilentävät maapalloa (Kroeze ja Bowman 2011). Vaikka vaikutus on päinvastainen kuin kasvihuonekaasuilla, on hiukkasten ilmanlaatua huonontava vaikutus otettava huomioon.

Solomonin ym. (2007) mukaan kasvihuonekaasujen (CO₂, CH₄, O₃ ja N₂O) haitallisuus perustuu siihen, että yhdisteet kykenevät sitomaan itseensä auringonvalon lämpöä ja säteilemään lämpöä maahan. Esimerkiksi dityppioksidin elinikä on ilmakehässä 114 vuotta, joten dityppioksidi on erittäin haitallinen ja pitkävaikutteinen kasvihuonekaasu. Dityppioksidin pitoisuus ilmakehässä on noussut viimeisten vuosikymmenten aikana

miltei lineaarisesti 0,26 % vuosittain. Maailmanlaajuisesti dityppioksidin lämmitysvaikutus kaikista kasvihuonekaasuista on 6 %. Dityppioksidin eliniän ja haitallisuuden vuoksi on erittäin tärkeää rajoittaa sen päästöjä. FAOSTAT:in (2018) raportissa maailmanlaajuisesti suurimmaksi dityppioksidipäästöjen aiheuttajaksi mainitaan maatalous. Päästöjä aiheutuu myös teollisuudesta, metsien hakkaamisesta ja savannien polttamisesta. Suomessa typen oksidien päästöistä 6,4 % aiheutuu maataloudesta (Suomen ympäristökeskus 2019b).

3.2 Vesistöjen rehevöityminen

Suomen vesistöihin päätyvän typpikuormituksen kokonaismäärä oli vuosina 2008 - 2012 noin 51 000 tonnia vuodessa ja päästöistä 55 % aiheutui maataloudesta (Uusitalo ym. 2007). Suomen ympäristökeskuksen (2019a) mukaan vuonna 2016 hajakuormituksena maataloudesta aiheutui vesistöihin typpipäästöjä noin 30 000 tonnia vuodessa eli 48 % typen päästöistä. Yhdyskuntien osuus kuormituksesta oli 17 % ja haja-asutuksen 4 %. Typen kertyminen vesistöihin aiheuttaa yhdessä fosforin kanssa rehevöitymistä. Vesistöjen kuormitus on pääasiassa ihmisistä lähtöisin, mutta myös luonnonhuuhtoumaa aiheutuu (Suomen ympäristökeskus 2017). Kohonnut typpipitoisuus lisää muun muassa kasviston määrää ja muuttaa vesistön alkuperäistä kala- ja planktonlajistoa (HELCOM 2018). Uusitalon ym. (2007) mukaan Suomen maatalouden osuus Itämeren kuormituksesta on typen osalta 3,7 %.

4 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena oli vertailla typpipäästöjen määrää ja jakautumista eri kasvilajeihin perustuvilla karkearehuruokinnolla. Nurmiheinäkasveista tehtyä säilörehua tai maissisäilörehua korvattiin osittain puna-apilaa, valkoapilaa tai sinimailasta sisältävällä säilörehulla. Hypoteesina oli, että nurmipalkokasvipitoisella ruokinnalla lypsylehmien typensaanti ja maitotuotos lisääntyvät ja typen erityis erityisesti virtsassa kasvaa.

5 AINEISTO JA MENETELMÄT

Meta-analyysin aineistoksi hyväksyttiin tutkimukset, joiden dieeteissä oli käytetty maissi- tai nurmiheinäsäilörehua. Kyseisiä rehuja korvattiin osittain tai kokonaan nurmipalkokasvisäilörehulla (apila tai sinimailanen). Lisäksi tutkimuksissa tuli olla raportoituna lehmien erittämä typen määrä joko virtsassa tai sonnassa. Jos typen eritystä maidossa ei ollut ilmoitettu, se piti pystyä laskemaan.

Tutkimuksessa käytettiin yhteensä 21 vertaisarvioidusta tieteellisestä tutkimuksesta muodostettua aineistoa (taulukko 1). Artikkelit oli julkaistu vuosien 2003 - 2019 aikana. Aineistoon valittiin tutkimuksia 2000-luvulta, jotta kokeissa käytetyt tutkimusmenetelmät olisivat yhteneviä. Aineisto kerättiin Scopus- tietokannasta ja Google Scholar-hakupalvelusta touko-elokuussa 2018. Hakusanoina olivat ”nitrogen excretion”, ”dairy cow”, ”alfalfa silage”, ”corn silage”, ”urinary N”, ”fecal N”, ”milk urea N”, ”red clover silage”, ”urinary nitrogen” ja ”grass silage” sekä erilaiset yhdistelmät mainituista sanoista. Kerätyt tiedot tallennettiin Microsoft Excel- taulukkolaskentaohjelmaan (Microsoft Excel 2013, Microsoft Corporation, Redmont, WA, USA).

Käytetyt dieetit perustuivat maissi- tai nurmiheinäkasvisäilörehuun, jota oli korvattu nurmipalkokasvia sisältävällä rehulla. Kyseisten karkearehujen määrä ja keskinäinen suhde tutkituissa dieeteissä vaihteli. Osassa dieettejä maissi- tai nurmiheinäsäilörehu oli kokonaan korvattu nurmipalkokasvilla ja osassa vain osittain. Osassa tutkimuksista dieetin raakavalkuaispitoisuus muuttui lisättäessä nurmipalkokasvin osuutta ruokinnassa ja osassa dieetin valkuaispitoisuus pysyi samana. Ruokintoja oli täydennetty erilaisilla valkuaisrehuilla, joita olivat 12 tutkimuksessa soija ja 6 tutkimuksessa rypsirouhe (taulukko 1). Energiaväkirehuina yleisimmin käytettyjä olivat jauhettu maissi (12 tutkimusta), vehnä (5 tutkimusta) tai ohra (5 tutkimusta).

Taulukko 1. Yhteenveto meta-analyysissä käytetyistä tutkimuksista ja dieeteistä.

Tutkimus	n ¹⁾	Pääasiallinen valkuaisväkirehu ²⁾³⁾	Pääasiallinen energiaväkirehu	Nurmi-palkokasvi ⁴⁾	Nurmiheinä/maissi ⁴⁾	Raakavalkuaispitoisuus (g/kg ka)	Typen saanti (g/pv)	Palkokasvin osuus dieetistä (%)	Palkokasvin osuus karkearehusta (%)
Arndt ym. (2015)	8 ⁵	S*	Maissi	S	M	166-180	590-692	11/22/33/44	20/40/60/80
Benchaar ym. (2007)	4 ⁵	S*	Maissi + ohra	S	M	155-164	434-451	0/49	0/100
Benchaar ym. (2015)	12 ⁵	S*	Maissi	A	M	163-170	578-648	0/57	0/100
Bertilsson ym. (2017)	8 ⁵	*	Vilja	A	N	164-176	540-577	17/34	25/50
Brito ja Broderick (2006)	28 ⁶	S*	Maissi	S	M	162-173	617-744	10/24/37/51	20/47/74/100
Broderick ym. (2001)	24 ⁶	S*	Maissi	A + S	M	163-184	579-692	48/61	80/100
Dewhurst ym. (2010)	8 ⁵	R*	Vehnä	A	M	136,155	451,532	16/34	25/40
Gehman ym. (2010)	28 ⁵	S*	Mäski + maissi	S	M	166-184	650-730	9/16/35	33/67
Halmemies-Beauchet-Filleau ym. (2014)	4 ⁵	R*	Ohra	A	N	173-200	589-617	0/20/40/60	0/33/67/100
Hassanat ym. (2013)	9 ⁵	S*	Maissi	S	M	157-168	573-597	0/28/56	0/50/100
Hassanat ym. (2014)	9 ⁵	S*	Maissi	S	N	159-171	574-673	0/27/54	0/50/100
Hymes-Fecht ym. (2013)	25 ⁵	S*	Maissi	A + S	M	178,180	730, 713	51/59	76/79

Taulukko 1. jatkuu

Tutkimus	n ¹⁾	Pääasiallinen valkuaisväkirehu ²⁾³⁾	Pääasiallinen energiaväkirehu	Nurmi-palkokasvi ⁴⁾	Nurmiheinä/maissi ⁴⁾	Raakavalkuaispitoisuus (g/kg ka)	Typen saanti (g/pv)	Palkokasvin osuus dieetistä (%)	Palkokasvin osuus karkearehusta (%)
Ineichen ym. (2019)	24 ⁵⁾	S*	Vehnä	A	N	128-174	286-566	0/15/26	0/17/30
Moorby ym. (2009)	8 ⁵⁾	R†	Vehnä	A	N	188-202	529-611	0/27/54/82	0/34/66/100
Moorby ym. (2016)	9 ⁵⁾	R*	Vehnä	A	M	126-178	394-556	8/42/74	10/50/90
Ruppert ym. (2003)	6 ⁵⁾	S†	Maissi	S	M	176-182	604-699	10/40	20/80
Schulz ym. (2018)	44 ⁵⁾	S†	Vehnä	A	M	175-178	553-628	14/28/42/57	18/37/57/78
van Dorland ym. (2007)	24 ⁵⁾	*	Maissi + ohra	A	N	176-204	502-643	0/26/31	0/39/41
Vanhatalo ym. (2006)	4 ⁵⁾	†	Ohra + kaura	A	N	155	341-361	0/25	0/40
Vanhatalo ym. (2009)	5 ⁵⁾	R*	Ohra + kaura	A	N	131-193	419-581	0/33/60	0/50/100
Wattiaux ja Karg (2004)	48 ⁶⁾	R*	Maissi	S	M	164-180	616-729	14/41	28/70

1) eläinmäärä

2) S= soija, R= rypsi, rapsi tai canola

3) * dieetin valkuaispitoisuus vaihtelee † dieetin valkuaispitoisuus sama

4) S= sinimailanen, A = apila, M = maissi, N = nurmiheinä

5) jaksokoe

6) jatkuva koe

5.1 Aineiston luokittelu

Aineisto jaettiin juoksevan numeroinnin avulla kokeisiin ja alakokeisiin. Koenumeron tarkoituksena oli erottaa eri tutkimukset toisistaan. Faktoriaalisissa kokeissa muuhun kuin nurmipalkokasvien osuuteen liittyvien faktorien eri tasot tulkittiin erillisiksi alakokeiksi. Muita tukittuja faktoreita olivat talin, sakkaroosin, mäskin tai erilaisten kasviöljyjen lisääminen. Aineistossa oli yhteensä 33 alakoetta ja alakokeissa oli 2 - 6 ruokintakäsittelyä. Alakoenumerailla erotettiin saman tutkimuksen sisällä keskenään vertailukelpoiset dieetit. Broderickin ym. (2001) tutkimuksesta aineistoon otettiin mukaan koe, jossa karkearehuna oli eri koeruokinnossa käytetty maissisäilörehua ja nurmipalkokasvisäilörehua. Vastaavasti Bertilssonin ym. (2017) tutkimuksesta aineistossa käytettiin vain tuloksia toisen vuoden kokeesta, jossa tutkitut ruokinnat olivat raiheinän ja puna-apilan seoksia.

Aineiston luokitteluun käytettiin karkearehun lähdettä, joka jaoteltiin nurmipalkokasvien osalta puna- ja valkoapilasäilörehuun (1) ja sinimaillassäilörehuun (2). Puna- ja valkoapilasäilörehut yhdistettiin tilastollista analyysia varten samaan luokkaan, koska valkoapilaa oli käytetty vain van Dorlandin ym. (2007) tutkimuksen yhdessä dieetissä. Havaintoja apilasäilörehuruokinnosta oli koko aineistossa 43 kappaletta ja sinimailasesta 35 kappaletta. Nurmiheinä- ja maissisäilörehut luokiteltiin myös omiin luokkiinsa. Aineistossa oli yhteensä 30 havaintoa nurmiheinäsäilörehuruokinnosta ja 48 maissisäilörehuruokinnosta. Nurmiheinäsäilörehujen osalta eri nurmiheinäkasvilajeista tehdyt rehut yhdistettiin samaan luokkaan.

5.2 Energiansaannin ja EKM-tuotoksen täydennys

Raportoitua energiansaantia käytettiin Ruppertin ym. (2003), Halmemies-Beauchet-Filleaun ym. (2014) ja Ineichenin ym. (2019) tutkimuksille. Wattiauxin ja Kargin (2004), Briton ja Broderickin (2006), Benchaarin ym. (2007), Hassanatin ym. (2013), Hassanatin ym. (2014), Arndtin ym. (2015), Benchaarin ym. (2015), Bertilssonin ym. (2017) ja Schulzin ym. (2018) tutkimuksissa ilmoitettiin dieetin energiapitoisuus, jonka kautta laskettiin energiensaanti megajouleina muuntokelpoista energiaa päivässä (MJ ME/pv). Vanhatalon ym. (2009) tutkimuksen väkirehuille energiapitoisuuden arvot laskettiin käyttämällä rehuarvotaulukon tietoja (Luonnonvarakeskus 2018b).

Vanhatalon ym. (2006), Moorbyn ym. (2009), Gehmanin ym. (2010) ja Moorbyn ym. (2016) tutkimuksissa dieetin energiapitoisuus laskettiin dieetin sulavan orgaanisen aineen (OA) pitoisuuden kautta. Myös Broderickin ym. (2001), van Dorlandin (2007), Dewhurstin ym. (2010) ja Hymes-Fechtlin ym. (2013) tutkimuksissa laskennan apuna käytettiin sulavaa orgaanista ainetta. Sulavan orgaanisen aineen pitoisuus dieetin kuiva-aineessa kerrottiin luvulla 0,15, jolloin saatiin dieetin ME-pitoisuus (MAFF 1975).

Lehmien tuotostiedoista tallennettiin maitomäärä, maidon rasva- ja valkuaispitoisuus (%). Myös rasva- ja valkuaisuotos (g/pv) tallennettiin. Energiakorjattu maitotuotos (EKM) laskettiin kaikkiin tutkimuksiin käyttäen Sjaunjan ym. (1991) kaavaa.

5.3 Typen hyväksikäyttöön liittyvien muuttujien täydennys

Broderickin ym. (2001) ja van Dorlandin ym. (2007) tutkimuksissa ei ollut raportoitu lehmien typen saantia, joten se laskettiin kertomalla dieetin raakavalkuaispitoisuus kuiva-aineen syönnillä ja jakamalla tulos kertoimella 6,25. Typen saantia käytettiin apuna typpitaseen laskennassa. Päivittäisestä typen saannista vähennettiin virtsassa, sonnassa ja maidossa eritetyn typen määrä, jolloin saatiin tietoon mahdollisesti eläimeen sitoutuneen typen määrä eli typpitase. Tutkimuksissa raportoitu typpitase oli lähellä laskennallista, joten meta-analyysissä päädyttiin käyttämään laskennallista arvoa. Mukana olleista tutkimuksista Broderick ym. (2001) ja Hymes-Fecht ym. (2013) eivät raportoineet typen erityistä sonnassa. Vastaavasti virtsan erityistä ja sen sisältämää typen määrää ei ollut tutkittu Broderickin ym. (2001) ja Vanhatalon ym. (2006) tutkimuksissa. Näiden tutkimusten typpitasetta ei voitu laskea.

Dieetin raakavalkuaispitoisuus laskettiin lypsylehmien typen saannin kautta, siten että typen saanti (g/pv) kerrottiin 6,25 ja jaettiin ka-syönnillä. Broderickin ym. (2001) ja van Dorlandin ym. 2007 tutkimuksille käytettiin artikkelissa raportoitua arvoa dieetin raakavalkuaisen pitoisuudesta.

Typen eritykseen liittyvistä parametreista tallennettiin virtsan (kg/pv) ja sonnan määrä (kg ka/pv). Virtsan määrä muunnettiin Moorbyn ym. (2003) ja Moorbyn ym. (2016) tutkimuksissa kiloista päivässä yksikköön litraa päivässä kertoimella 1,03. Myös sonnan, virtsan ja maidon sisältämän typen määrä (g/pv) sekä typen erityksen osuus (% typen saannista) tallennettiin. Jos sonnan, virtsan tai maidon typen erityksen osuutta ei ollut

raportoitu, se laskettiin typen saannin kautta. Maidossa erittyvän typen määrää ei ollut ilmoitettu Broderickin ym. (2001), Vanhatalon ym. (2006), van Dorlandin ym. (2007), Vanhatalon ym. (2009) ja Hymes-Fechtlin ym. (2013) tutkimuksissa, joten se laskettiin jakamalla valkuaisuotos (g/pv) kertoimella 6,38.

Pötsin ammoniakkipitoisuus oli joissakin tutkimuksissa ilmoitettu yksikössä mg/dl. Pitoisuus muunnettiin yksikköön mmol/l käyttämällä ammoniakin moolimassaa. Maidon ureatypen pitoisuus muutettiin Vanhatalon ym. (2006), Benchaarin ym. (2007), van Dorlandin ym. (2007), Vanhatalon ym. (2009), Halmemies-Beauchet-Filleaun ym. (2014) ja Schulzin ym. (2018) tutkimuksissa yksikköön mg/dl, käyttäen urean moolimassaa ja typen osuutta urean moolimassasta.

5.4 Tilastollinen analyysi

Tilastollinen analyysi tehtiin SAS-ohjelmiston Proc Mixed- proseduurilla (SAS versio 9.4, SAS Institute Inc. Cary, USA). Regressioanalyysillä tutkittiin palkokasvin osuuden yhteyttä typen saantiin, typen eritykseen, typen erityksen jakautumiseen ja tyypitaseeseen. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin dieetin palkokasvin osuuden yhteyttä maitotuotokseen, maidon koostumukseen, kuiva-aineen syöntiin, dieetin raakavalkuaisen pitoisuuteen ja energiansaantiin. Koko aineiston analyysin lisäksi aineistosta tutkittiin erikseen apilasäilörehun osuuden vaikutusta, kun apilalla korvattiin nurmiheinä- tai maissisäilörehua. Myös sinimailasen vaikutusta maissisäilörehua korvattaessa selvitettiin.

Analyyseissa käytettiin ensimmäisen ja toisen asteen sekamalleja. Malleissa palkokasvin osuus dieetin kuiva-aineesta ja leikkauspiste olivat kiinteinä ja satunnaistekijöinä. Satunnaistekijöiden sisällyttämisellä malleihin huomioitiin alakokeen vaikutus. Kaikki muuttujat testattiin ensimmäisen ja toisen asteen regressiomallilla. Jos malli ei ratkennut, poistettiin mallista satunnaistekijöiden välinen kovarianssi (St-Pierre, 2001).

6 TULOKSET

Meta-analyysissä käytetyn koko aineiston tunnusluvut on esitetty taulukossa 2. Alakokeita tutkimuksessa oli yhteensä 41 ja dieettejä 78. Suurin nurmipalkokasvin osuus oli Moorbyn ym. (2009) tutkimuksessa, jossa palkokasvia oli 82 % dieetin kuiva-aineesta. Keskimäärin koko aineistossa nurmipalkokasvia oli käytetty maltillisesti (29 %/ka). Kunkin alakokeen maksimiosuuksista laskettuna nurmipalkokasvin osuus oli keskiarvona 49 %/ka. Nurmea tai maissia oli käytetty keskimäärin hieman enemmän kuin palkokasvia (32 %/ka). Myös väkirehun osuus oli maltillinen (keskiarvo 36 %/ka).

Taulukko 2. Koko aineiston tilastolliset tunnusluvut, kun nurmiheinä- tai maissisäilörehua korvattiin nurmipalkokasvisäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

	n	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimimi	Maksimi
Dieetin tiedot					
Nurmiheinä- tai maissisäilörehun osuus (%)	78	31,9	22,7	0	79,0
Palkokasvin osuus (%)	78	29,1	21,4	0	81,6
Väkirehun osuus (%)	78	36,1	10,1	14,2	58,3
RV (g/kg ka)	78	170	15	124	206
Ka-syönti (kg/pv)	78	21,2	3,0	14,0	26,8
Tuotostiedot					
Maitotuotos (kg/pv)	78	30,7	6,3	16,8	45,1
EKM (kg/pv)	75	29,2	4,9	18,3	39,5
Valkuaispitoisuus (%)	78	3,16	0,20	2,66	3,86
Rasvapitoisuus (%)	75	3,71	0,49	2,45	4,85
Valkuaistuotos (g/pv)	78	955	171	568	1320
Rasvatuotos (g/pv)	75	1128	197	700	1560
Typen saanti ja erityis					
N-saanti (g/pv)	78	579	102	286	744
Virtsan määrä (l/pv)	23	25,0	4,5	15,1	32,9
Virtsan N (g/pv)	70	198	51	74	322
Virtsan N osuus (%)	70	33,4	5,9	19,0	49,9
Sonnan määrä (kg/pv)	12	7,5	1,1	6,2	9,3
Sonnan N (g/pv)	72	187	41	106	292
Sonnan N osuus (%)	72	33,2	4,5	23,5	44,4
Maidon N (g/pv)	78	156	33	89	249
Maidon N osuus (%)	78	26,4	3,9	19,3	35,7

n= havaintojen määrä

RV= dieetin raakavalkuaispitoisuus

EKM = energiakorjattu maitotuotos

6.1 Nurmipalkokasvin osuuden vaikutus dieetin koostumukseen ja tuotokseen

Taulukossa 3 on esitetty dieetin nurmipalkokasvin osuuden (apila ja sinimailanen) lineaarinen vaikutus kuiva-aineen syöntiin, dieetin koostumukseen, maitotuotokseen ja maidon koostumukseen koko aineistossa. Palkokasvin osuuden lisääminen kasvatti kuiva-aineen syöntiä ($p=0,02$), mutta huononsi kuiva-aineen sulavuutta ($p=0,04$). Samaan aikaan dieetin raakavalkuaispitoisuus suureni 2,9 g/kg ka palkokasvipitoisuuden lisääntyessä 10 %-yksikköä ($p<0,001$).

Taulukko 3. Palkokasvin osuuden (%/ka:ssa) vaikutus dieetin koostumukseen ja tuotokseen ensimmäisen asteen mallin mukaan, kun nurmi- tai maissisäilörehua korvattiin nurmipalkokasvisäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

	n	Leikkaus- piste	SE	Kulma- kerroin	SE	P-arvo	Selitys- aste
Ka-syönti (kg/pv)	78	20,7	0,54	0,02	0,008	0,02	0,27
Ka-sulavuus (%)	66	68,3	0,76	-0,03	0,012	0,04	0,16
Dieetin rv (g/ kg ka)	78	161	3,5	0,29	0,063	<0,001	0,58
Energiansaanti (MJ, ME/pv)	78	214	6,7	0,17	0,108	0,12	0,31
Maitotuotos (kg/pv)	78	30,3	1,24	0,01	0,011	0,38	0
EKM (kg/pv)	75	28,4	0,92	0,02	0,012	0,17	0,21
Valkuaistuotos (g/pv)	78	964	33,9	-0,53	0,328	0,12	0,11
Rasvatuotos (g/pv)	75	1057	39,9	2,06	0,683	0,01	0,80
Valkuaispitoisuus (%)	78	3,19	0,048	-0,001	0,0011	0,32	0,72
Rasvapitoisuus (%)	75	3,63	0,139	0,003	0,0019	0,15	0,40

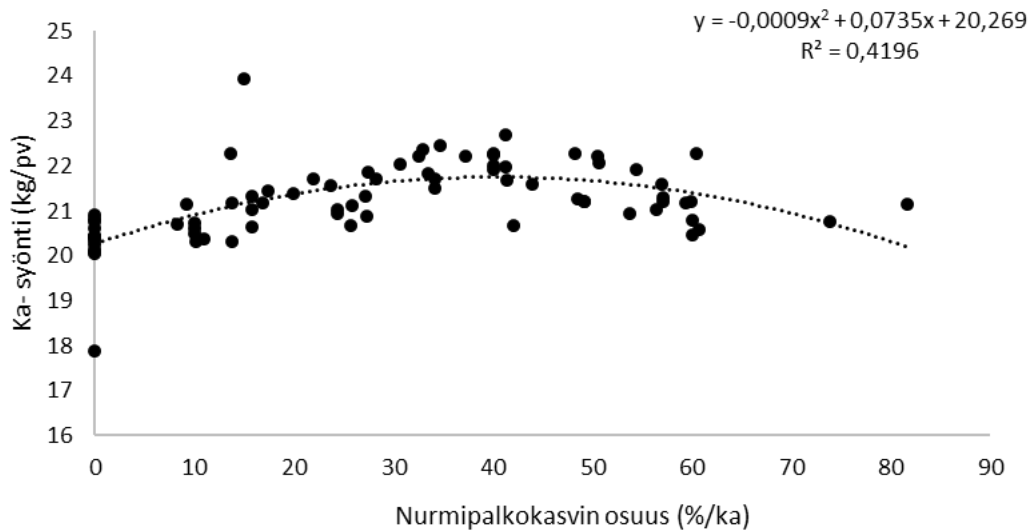
n= havaintojen lukumäärä

SE= keskivirhe (standard error)

EKM = energiakorjattu maitotuotos

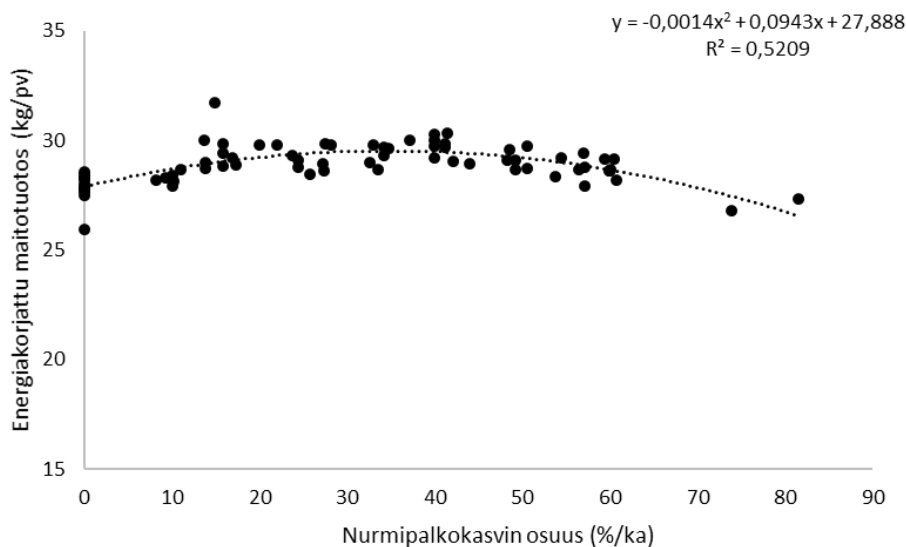
Toisen asteen mallissa nurmipalkokasvin osuuden vaikutus kuiva-aineen syöntiin (kuva 2) ja -sulavuuteen (taulukko 4) oli käyräviivainen. Kuiva-aineen sulavuus alkoi heiketä palkokasvin osuuden 20 %/ka jälkeen (sulavuus 68 %). Nurmipalkokasvin osuudella 60 %/ka kuiva-aineen sulavuus oli noin 65 %. Tässä aineistossa kuiva-aineen syönti oli korkeimmillaan (21,8 kg/pv) palkokasvin osuuden ollessa 41 %/ka. Kun nurmipalkokasvin osuutta pienennettiin 20 %-yksikköä syönti väheni 0,35 kg ka/pv.

Energiansaantiin nurmipalkokasvin osuuden lisääminen vaikutti samalla tavalla käyräviivaisesti kuin ka- syöntiin ja -sulavuuteen (taulukko 4).



Kuva 2. Palkokasvin osuuden ja ka-syönnin yhteys koko aineistossa, kun nurmi- tai maissisäilörehua korvattiin nurmipalkokasvisäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

Tuotokseen liittyvistä muuttujista nurmipalkokasvin osuudella ei ollut vaikutusta maito- tai EKM-tuotokseen lineaarisessa mallissa. Vastaavasti käyräviivaisessa mallissa oli erittäin merkitsevä yhteys EKM-tuotokseen (kuva 3). EKM-tuotos saavutti huippunsa palkokasvin osuuden ollessa noin 40 % ja kääntyi sen jälkeen maltilliseen laskuun. Merkitsevä toisen asteen yhteys löydettiin myös maitotuotokseen, jonka muutos oli samansuuntainen kuin EKM:ssä (taulukko 4).



Kuva 3. Palkokasvin osuuden ja EKM-tuotoksen yhteys koko aineistossa, kun nurmi- tai maissisäilörehua korvattiin nurmipalkokasvisäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

Lineaarisen mallin mukaan nurmipalkokasvin osuuden kasvattamisella oli positiivinen vaikutus rasvatuotokseen ($p=0,01$). Toisen asteen mallin perusteella vaikutus rasva- ja valkuaistuotokseen oli käyräviivainen (taulukko 4). Aluksi tuotos lisääntyi nurmipalkokasvin osuuden kasvaessa, mutta kääntyi laskuun suurilla osuuksilla. Nurmipalkokasvin osuudella ei ollut yhteyttä maidon pitoisuuksiin lineaarisen tai käyräviivaisen mallin mukaan.

Taulukko 4. Palkokasvin osuuden (%/ka:ssa) vaikutus dieetin koostumukseen, maitotuotokseen ja maidon koostumukseen toisen asteen mallin mukaan, kun nurmi- tai maissisäilörehua korvattiin nurmipalkokasvisäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

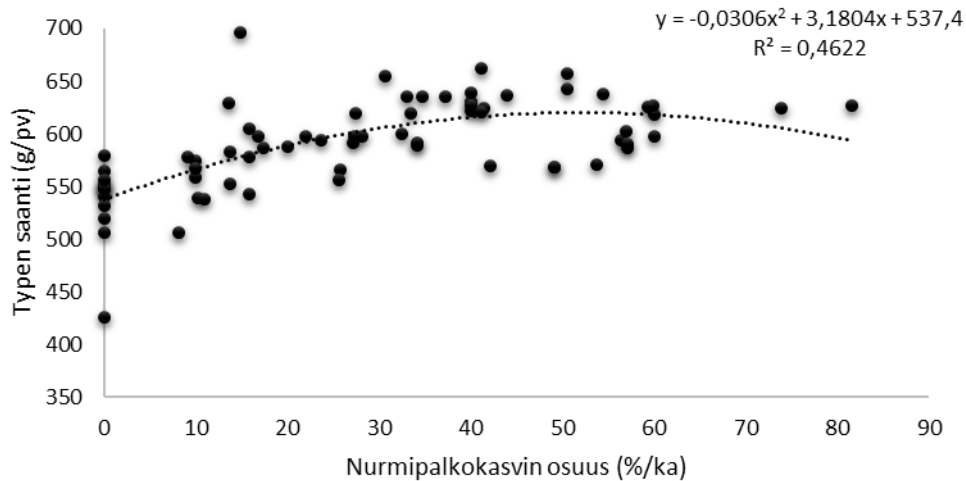
	n	Leikkaus- piste	SE	1. asteen kerroin	SE	P-arvo	2. asteen kerroin	SE	P- arvo	Selitys- aste
Ka-sulavuus (%)	66	67,8	0,80	0,05	0,033	0,14	-0,001	0,0005	0,02	0,37
Energiansaanti (MJ, ME/pv)	78	210	6,6	0,71	0,192	0,001	-0,010	0,0030	0,005	0,49
Maitotuotos (kg/pv)	78	29,8	1,24	0,07	0,024	0,01	-0,001	0,0004	0,01	0,28
Valkuaistuotos (g/pv)	78	946	34,4	1,84	0,839	0,04	-0,039	0,0131	0,01	0,38
Rasvatuotos (g/pv)	75	1047	39,7	3,55	1,068	0,002	-0,027	0,0151	0,10	0,79

n= havaintojen lukumäärä

SE= keskiarvo (standard error)

6.2 Nurmipalkokasvin osuuden vaikutus typen saantiin ja eritykseen

Taulukossa 5 on esitetty nurmipalkokasvin osuuden yhteys typen saantia ja eritystä kuvaaviin muuttujiin lineaarisen mallin mukaan. Nurmipalkokasvin osuuden noustessa 10 %-yksikköä lehmien typensaanti lisääntyi lineaarisesti 12,9 g/pv. Toisen asteen mallin mukaan yhteys oli käyräviivainen, typen saanti kasvoi nurmipalkokasvin osuuteen 60 %/ka saakka (kuva 4).



Kuva 4. Palkokasvin osuuden ja typen saannin yhteys koko aineistossa, kun nurmi- tai maissisäilörehua korvattiin nurmipalkokasvisäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

Lineaarisen mallin tuloksissa oli tilastollisesti erittäin merkitsevä yhteys nurmipalkokasvin osuuden ja maidossa erittyvän typen osuuden välillä (taulukko 5). Kun nurmipalkokasvin osuutta dietissä lisättiin 10 %-yksikköä väheni samaan aikaan maidossa eritetyn typen osuus 0,8 %-yksikköä. Sonnassa eritetyn typen määrä nousi tilastollisesti erittäin merkitsevästi ja myös sonnan osuus typen erityksestä nousi ($p=0,03$). Typpitase kasvoi nurmipalkokasvin osuuden lisääntyessä ($p<0,001$). Muihin typen eritystä kuvaaviin muuttujiin nurmipalkokasvin osuuden lisäämisellä ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta lineaarisessa mallissa.

Käyräviivaisen mallin tuloksissa oli suuntaa antava yhteys nurmipalkokasvin osuuden ja lypsylehmien typensaannin välillä. Maidossa erittyvän typen määrään nurmipalkokasvin lisääminen vaikutti käyräviivaisesti ($p=0,03$). Aluksi maitoon erittyi enemmän typpeä, mutta suurilla sinimailasen ja apilan osuuksilla erityys väheni (taulukko 6). Myös typpitase nousi käyräviivaisesti nurmipalkokasvin osuuden kasvaessa ($p=0,06$). Nurmipalkokasvin osuudella ei ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä muihin muuttujiin toisen asteen mallin mukaan.

Taulukko 5. Palkokasvin osuuden (%/ka:ssa) vaikutus typen saantiin ja eritykseen ensimmäisen asteen mallin mukaan, kun nurmi- tai maissisäilörehua korvattiin nurmipalkokasvisäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

	n	Leikkaus- piste	SE	Kulma- kerroin	SE	P-arvo	Selitys- aste
N- saanti (g/pv)	78	540	19,4	1,29	0,271	<0,001	0,35
Virtsan N (g/pv)	70	191	12,3	0,20	0,231	0,41	0,12
Sonnan N (g/pv)	72	167	7,2	0,69	0,108	<0,001	0,53
Maidon N (g/pv)	78	160	6,9	-0,10	0,059	0,09	0,15
Virtsan N osuus (%)	70	34,5	1,43	-0,05	0,033	0,11	0,50
Sonnan N osuus (%)	72	32,0	0,99	0,04	0,019	0,03	0,59
Maidon N osuus (%)	78	28,6	0,68	-0,08	0,011	<0,001	0,57
Pötsin NH ₃ (mmol/l)	47	8,18	0,962	-0,002	0,0146	0,92	0
Maidon ureatyppi (mg/dl)	59	13,2	1,05	0,005	0,0309	0,88	0
Typpitase (g/pv)	68	17,6	8,52	0,72	0,173	<0,001	0,72

n= havaintojen lukumäärä

SE= keskiarvo (standard error)

Taulukko 6. Palkokasvin osuuden (%/ka:ssa) vaikutus typen saantiin ja eritykseen toisen asteen mallin mukaan, kun nurmi- tai maissisäilörehua korvattiin nurmipalkokasvisäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

	n	Leikkaus- piste	SE	1. asteen kerroin	SE	P-arvo	2. asteen kerroin	SE	P- arvo	Selitys- aste
N-saanti (g/pv)	78	529	20,2	2,72	0,864	0,004	-0,023	0,0133	0,10	0,38
Maidon N (g/pv)	78	157	6,9	0,21	0,143	0,16	-0,005	0,0022	0,03	0,37
Typpitase (g/pv)	68	13,7	8,92	1,32	0,364	0,001	-0,011	0,0057	0,06	0,62

n= havaintojen lukumäärä

SE= keskiarvo (standard error)

6.3 Apilasäilörehun vaikutus korvattaessa nurmiheinäsäilörehua

Taulukossa 7 on esitetty tunnusluvut osa-aineistosta, jossa nurmiheinäsäilörehua korvattiin apilasäilörehulla. Koko aineiston tunnuslukuihin (taulukko 2) verrattuna osa-aineistossa nurmipalkokasvin osuus oli keskimäärin 4 %/ka pienempi ja dieetin keskimääräinen raakavalkuaispitoisuus oli lähes sama. Lehmien typen saanti jäi osa-aineistossa keskimäärin 66 g/pv pienemmäksi. Virtsan tai sonnan määrää ei ollut raportoitu yhdessäkään tutkimuksessa. Virtsan, sonnan ja maidon typen erityksen osuudet olivat keskimäärin samat kuin koko aineistossa (vaihteluväli -0,3 - 1,6 %-yksikköä).

Taulukko 7. Osa-aineiston tilastolliset tunnusluvut, kun nurmiheinäsäilörehua korvattiin apilasäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

	n	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
Dieetin tiedot					
Nurmiheinäsäilörehun osuus (%)	27	42,7	23,4	0	79,0
Apilasäilörehun osuus (%)	27	25,3	22,7	0	81,6
Väkirehun osuus (%)	27	30,7	8,9	14,2	40,0
RV (g/kg ka)	27	173	21	127	206
Ka-syöinti (kg/pv)	27	18,5	2,4	14,0	21,5
Tuotostiedot					
Maitotuotos (kg/pv)	27	24,6	3,6	16,8	28,7
EKM (kg/pv)	24	24,6	3,1	18,3	28,9
Valkuaispitoisuus (%)	27	3,27	0,18	2,93	3,86
Rasvapitoisuus (%)	24	4,03	0,35	3,52	4,85
Valkuaistuotos (g/pv)	27	798	106	568	942
Rasvatuotos (g/pv)	24	995	119	769	1180
Typen saanti ja erityys					
N-saanti (g/pv)	27	512	98	286	643
Virtsan N (g/pv)	23	184	46	76	247
Virtsan N osuus (%)	23	33,6	5,6	23,8	42,0
Sonnan N (g/pv)	27	165	34	106	230
Sonnan N osuus (%)	27	33,1	3,3	26,9	41,0
Maidon N (g/pv)	27	139	43	89	249
Maidon N osuus (%)	27	24,7	3,3	19,3	35,7

n= havaintojen määrä

RV= dieetin raakavalkuaispitoisuus

EKM = energiakorjattu maitotuotos

Taulukossa 8 esitetään lineaarisen mallin vaikutukset korvattaessa nurmisäilörehua apilasäilörehulla. Apilasäilörehun lisääminen nosti dieetin raakavalkuaispitoisuutta 4,2 g/kg ka, kun apilan osuus dieetissä kasvoi 10 %-yksiköllä. Maitotuotoksen havaittiin

nousevan ($p=0,02$), mutta maidon rasvapitoisuuden laskevan ($p<0,001$). Tilastollisesti merkitseviä ensimmäisen asteen yhteyksiä ei ollut apilan osuuden ja ka-syönnin, ka-sulavuuden, energiansaannin, maidon rasvatuotoksen, valkuaisuutoksen tai EKM-tuotoksen välillä.

Taulukko 8. Apilasäilörehun osuuden (%/ka:ssa) vaikutus dieetin koostumukseen ja tuotokseen ensimmäisen asteen mallin mukaan, kun nurmiheinäsäilörehua korvattiin apilasäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

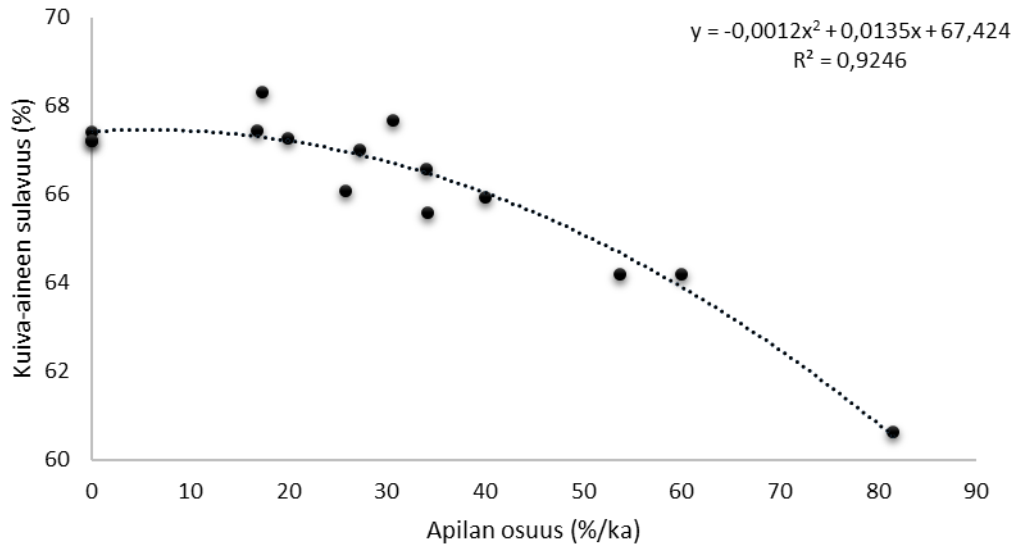
	n	Leikkaus- piste	SE	Kulma- kerroin	SE	P-arvo	Selitys- aste
Ka-syönti (kg/pv)	27	18,2	0,81	0,01	0,013	0,41	0
Ka-sulavuus (%)	12	68,0	1,49	-0,06	0,029	0,13	0,76
Dieetin rv (g/ kg ka)	27	161	6,3	0,42	0,140	0,02	0,56
Energiansaanti (MJ, ME/pv)	27	193	12,6	-0,02	0,129	0,86	0
Maitotuotos (kg/pv)	27	23,4	1,28	0,04	0,013	0,02	0,29
EKM (kg/pv)	24	24,3	1,22	0,01	0,012	0,51	0
Valkuaispitoisuus (%)	27	3,34	0,068	-0,003	0,0024	0,28	0,90
Rasvapitoisuus (%)	24	4,21	0,125	-0,01	0,001	<0,001	0,54

n= havaintojen lukumäärä

SE= keskiarvo (standard error)

EKM = energiakorjattu maitotuotos

Toisen asteen malli osoitti apilan vaikutuksen dieetin ka-sulavuuteen olevan käyräviivainen (kuva 5). Apilan osuudella 20 %/ka ka-sulavuus pysyi suurin piirtein samana kuin ilman apilaa sisältävällä dieetillä. Apilan osuuden noustessa 60 %:iin dieetin kuiva-aineen sulavuus oli heikennyt lähtötilanteesta 3,0 %-yksikköä. Korkeimmalla apilan osuudella (80 %/ka) kuiva-aineen sulavuus oli 6,6 %-yksikköä huonompi kuin apilan osuuden ollessa nolla.



Kuva 5. Apilan osuuden ja dieetin kuiva-aineen sulavuuden yhteys, kun nurmiheinäsäilörehua korvattiin apilasäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

Käyräviivainen malli selitti apilan vaikutusta EKM-tuotokseen lineaarista mallia paremmin (taulukko 9). Mallin selitysaste parani lineaarisesta, mutta jäi edelleen suhteellisen heikoksi (0,29). Lypsylehmien energiansaanti noudatti käyräviivaista mallia (taulukko 9). Nurmisäilörehun korvaaminen apilalla lisäsi aluksi energiansaantia, mutta apilan osuuden edelleen kasvaessa energiansaanti alkoi vähentyä.

Taulukko 9. Apilan osuuden (%/ka:ssa) vaikutus dieetin koostumukseen ja tuotokseen toisen asteen mallin mukaan, kun nurmiheinäsäilörehua korvattiin apilasäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

	n	Leikkaus- piste	SE	1. asteen kerroin	SE	P-arvo	2. asteen kerroin	SE	P- arvo	Selitys- aste
Energiansaanti (MJ, ME/pv)	27	188	11,6	0,58	0,266	0,06	-0,010	0,0041	0,05	0,44
EKM (kg/pv)	24	23,7	1,13	0,07	0,034	0,06	-0,001	0,0005	0,10	0,29

n= havaintojen lukumäärä

SE= keskivirhe (standard error)

EKM= energiakorjattu maitotuotos

Ensimmäisen asteen mallin todettiin selittävän toisen asteen mallia paremmin useimpia typen saantiin ja eritykseen liittyviä muuttujia (taulukko 10). Apilasäilörehun osuuden kasvattamisella oli positiivinen yhteys lypsylehmien typen saantiin. Apilan osuuden ja typen saannin lisääntyessä typen eritykset (g/pv) virtsassa (p=0,002) ja sonnassa (p=0,03)

kasvoivat lineaarisesti. Aineiston perusteella apilan osuudella ei ollut vaikutusta sonnassa erittyvään typen osuuteen. Vastaavasti virtsassa eritettävän typen osuus nousi 1,1 %-yksikköä, kun apilan osuutta dieetissä lisättiin 10 %/ka.

Apilan osuuden lisäämisellä ei ollut vaikutusta maidon typen määrään (g/pv), mutta maidon osuus typen erityksestä pieneni ($p=0,004$). Maidon ureatypen pitoisuus suureni apilan osuutta lisättäessä ($p=0,05$). Muihin typen eritykseen liittyviin muuttujiin apilasäilörehun lisäämisellä ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta ensimmäisen asteen mallissa. Toisen asteen mallissa ei ollut merkitseviä yhteyksiä typen eritykseen tai typen saantiin liittyviin muuttujiin.

Taulukko 10. Apilasäilörehun osuuden (%/ka:ssa) vaikutus typen saantiin ja eritykseen ensimmäisen asteen mallin mukaan, kun nurmiheinäsäilörehua korvattiin apilasäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

	n	Leikkaus- piste	SE	Kulma- kerroin	SE	P-arvo	Selitys- aste
N-saanti (g/pv)	27	462	27,7	1,65	0,513	0,01	0,41
Virtsan N (g/pv)	23	152	16,5	1,06	0,215	0,002	0,65
Sonnan N (g/pv)	27	148	9,7	0,51	0,194	0,03	0,31
Maidon N (g/pv)	27	141	16,3	0,01	0,070	0,85	0
Virtsan N osuus (%)	23	30,3	2,07	0,11	0,025	0,004	0,52
Sonnan N osuus (%)	27	32,8	0,72	0,01	0,034	0,69	0,10
Maidon N osuus (%)	27	26,8	0,81	-0,08	0,020	0,004	0,45
Pötsin NH ₃ (mmol/l)	13	8,03	1,565	-0,01	0,025	0,77	0,27
Maidon ureatyyppi (mg/dl)	19	9,11	1,000	0,14	0,060	0,05	0,84
Typpitase (g/pv)	23	27,0	15,04	0,41	0,340	0,27	0,34

n= havaintojen lukumäärä

SE= keskivirhe (standard error)

6.4 Apilasäilörehun vaikutus korvattaessa maissisäilörehua

Taulukossa 11 on esitetty osa-aineiston tunnusluvut, kun maissisäilörehua korvattiin apilasäilörehulla. Verrattuna aineistoon, jossa nurmiheinäsäilörehua korvattiin apilalla (taulukko 7) tässä osa-aineistossa apilaa oli käytetty keskimäärin 10 %-yksikköä enemmän ja typen saanti oli 51 g/pv suurempi. Lisäksi tässä osa-aineistossa kuiva-aineen syönti oli 3 kg/pv ja maitotuotos 6,8 kg/pv suurempia. Virtsan, sonnan ja maidon typen erityksen osuudet olivat keskimäärin samat (vaihteluväli -3 - 2 %-yksikköä).

Verrattuna koko aineiston tunnuslukuihin (taulukko 2) osa-aineistossa oli käytetty nurmipalkokasvia keskimäärin 7 %/ka:ssa enemmän. Dieetin raakavalkuaispitoisuus (9 g/kg ka) ja typen saanti (15 g/pv) olivat pienempiä kuin koko aineistossa keskimäärin. Typen erityksen osuuksissa ei ollut merkittäviä eroja.

Taulukko 11. Osa-aineiston tilastolliset tunnusluvut, kun maissisäilörehua korvattiin apilasäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

	n	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
Dieetin tiedot					
Maissisäilörehun osuus (%)	15	33,5	25,3	0	73,9
Apilasäilörehun osuus (%)	15	35,8	23,8	0	73,8
Väkirehun osuus (%)	15	28,7	8,8	16,3	38,5
RV (g/kg ka)	15	161	14	124	175
Ka-syönti (kg/pv)	15	21,5	1,5	19,5	23,8
Tuotostiedot					
Maitotuotos (kg/pv)	15	31,4	4,1	25,7	37,7
EKM (kg/pv)	15	30,2	4,3	21,4	35,3
Valkuaispitoisuus (%)	15	3,15	0,15	2,97	3,5
Rasvapitoisuus (%)	15	3,90	0,29	3,06	4,28
Valkuaistuotos (g/pv)	15	969	147	755	1210
Rasvatuotos (g/pv)	15	1201	160	941	1430
Typen saanti ja erityys					
N-saanti (g/pv)	15	564	68	394	648
Virtsan määrä (l/pv)	9	22,9	3,9	15,1	27,9
Virtsan N (g/pv)	13	181	56	74	256
Virtsan N osuus (%)	13	31,8	7,1	19,0	42,0
Sonnan määrä (kg/pv)	8	6,9	0,7	6,2	8,1
Sonnan N (g/pv)	13	191	29	136	223
Sonnan N osuus (%)	13	34,4	5,0	23,5	40,1
Maidon N (g/pv)	15	155	20	128	189
Maidon N osuus (%)	15	27,7	2,3	24,3	33,4

n= havaintojen määrä

RV= dieetin raakavalkuaispitoisuus

EKM = energiakorjattu maitotuotos

Taulukko 12. Apilasäilörehun osuuden (%/ka:ssa) vaikutus dieetin koostumukseen ja tuotokseen ensimmäisen asteen mallin mukaan, kun maissisäilörehua korvattiin apilasäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

	n	Leikkaus- piste	SE	Kulma- kerroin	SE	P-arvo	Selitys- aste
Ka-syönti (kg/pv)	15	21,9	0,61	-0,003	0,0128	0,82	0
Ka-sulavuus (%)	15	71,4	0,93	-0,04	0,011	0,02	0,61
Dieetin rv (g/ kg ka)	15	152	6,2	0,25	0,124	0,09	0,84
Energiansaanti (MJ, ME/pv)	15	238	11,4	-0,35	0,175	0,10	0,60
Maitotuotos (kg/pv)	15	32,6	1,86	-0,03	0,034	0,42	0,76
EKM (kg/pv)	15	31,5	1,70	-0,03	0,032	0,44	0,32
Valkuaistuotos (g/pv)	15	1037	64,8	-1,81	0,922	0,11	0,88
Rasvatuotos (g/pv)	15	1224	99,6	-0,80	1,909	0,69	0,71

n= havaintojen lukumäärä

SE= keskivirhe (standard error)

EKM = energiakorjattu maitotuotos

Taulukossa 12 on kuvattu ensimmäisen asteen yhteydet, kun maissisäilörehua korvattiin apilasäilörehulla. Lineaarinen malli selitti hyvin ka-sulavuutta ($p=0,02$). Ka-sulavuus pieneni 0,4 %-yksikköä apilan osuuden noustessa 10 %/ka. Apilan osuuden lisääminen dieetissä suurensi suuntaa antavasti dieetin rv-pitoisuutta ($p=0,09$).

Toisen asteen malli selitti lineaarista mallia paremmin kuiva-aineen sulavuutta ja dieetin raakavalkuaisen pitoisuutta. Tilastollisesti merkitsevää käyräviivaista yhteyttä apilan osuuden ja kyseisten muuttujien välillä ei kuitenkaan ollut, vaikka selitysaste oli parempi kuin ensimmäisen asteen mallissa (taulukko 13). Ensimmäisen tai toisen asteen mallin tulosten perusteella apilan osuudella dieetissä ei ollut tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä ka-syöntiin, maidon pitoisuuksiin tai typen saantiin. Pötsin ammoniakkipitoisuus oli mitattu vain yhdessä kokeessa, joten sen osalta yhteyttä ei voitu testata.

Taulukko 13. Apilan osuuden (%/ka:ssa) vaikutus dieetin koostumukseen, tuotokseen ja typen eritykseen toisen asteen mallin mukaan, kun maissisäilörehua korvattiin apilasäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

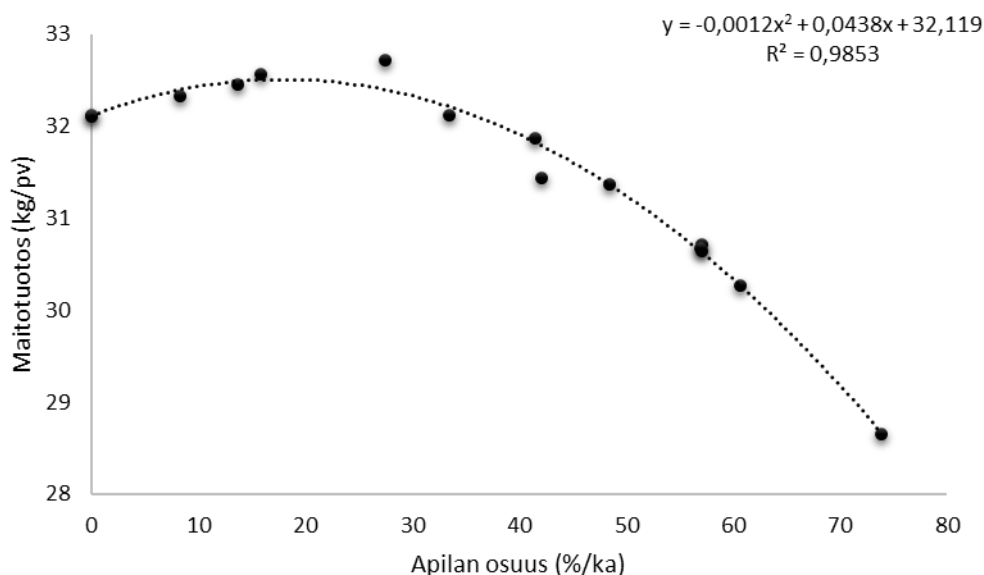
	n	Leikkaus- piste	SE	1. asteen kerroin	SE	P-arvo	2. asteen kerroin	SE	P- arvo	Selitys- aste
Ka-sulavuus (%)	15	71,8	1,01	-0,10	0,050	0,10	0,001	0,0007	0,29	0,77
RV (g/pv)	15	145	10,8	0,70	0,234	0,03	-0,006	0,0020	0,11	0,98
EKM (kg/pv)	15	30,7	1,99	0,11	0,045	0,06	-0,002	0,0004	0,04	0,99
Rasvatuot (g/pv)	15	1208	100,0	1,73	1,984	0,42	-0,04	0,007	0,02	0,99
Maidon N (g/pv)	13	157	12,9	0,44	0,238	0,13	-0,01	0,002	0,05	0,99
Virtsan N (%)	13	38,1	3,69	-0,58	0,218	0,06	0,008	0,0031	0,14	0,59
Typpitase (g/pv)	13	13,2	14,68	2,35	0,507	0,01	-0,03	0,007	0,05	0,85

n= havaintojen lukumäärä

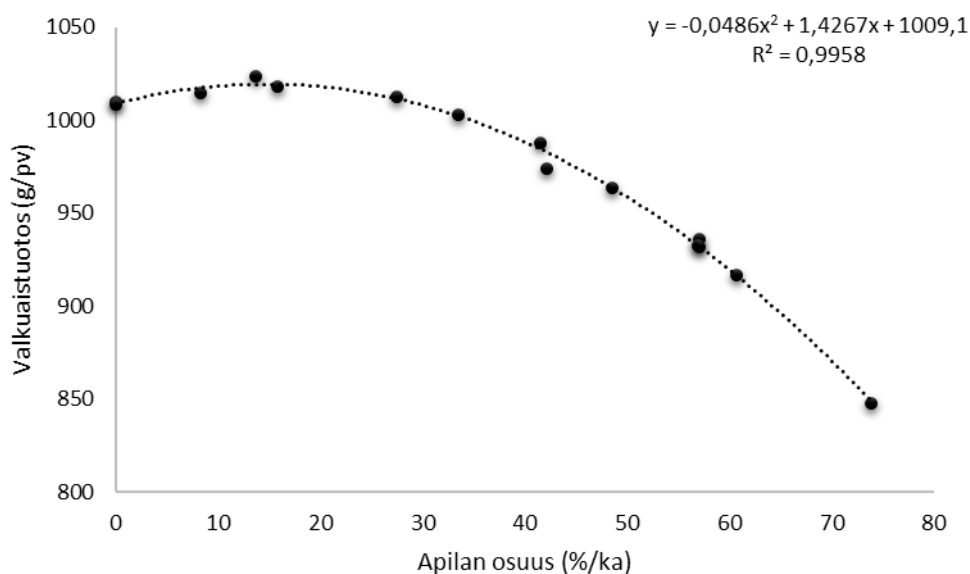
RV= dieetin raakavalkuaispitoisuus

EKM= energiakorjattu maitotuotos

Maito- (kuva 6) ja EKM-tuotokseen apilan osuuden lisäämisellä oli voimakas käyräviivainen vaikutus. Verrattuna apilan osuuteen nolla, apilan osuuden ollessa 20 %/ka maitotuotos oli lisääntynyt 0,5 kg/pv. Apilan ollessa yli 30 %/ka maitotuotos alkoi vähetä ja oli alimmillaan 28,7 kg/pv suurimmalla apilan osuudella (74%/ka).



Kuva 6. Apilan osuuden ja maitotuotoksen yhteys, kun maissisäilörehua korvattiin apilasäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.



Kuva 7. Apilan osuuden ja valkuaistuotoksen yhteys, kun maissisäilörehua korvattiin apilasäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

Apilan osuus vaikutti myös valkuais- (kuva 7) ja rasvatuotokseen. Yhteys oli samalla tavalla käyräviivainen kuin maitotuotoksessa. Apilan osuudella nolla valkuaistuotos oli 1009 g/pv. Apilan osuuksien 30 - 50 % välillä valkuaistuotos väheni noin 50 g/pv.

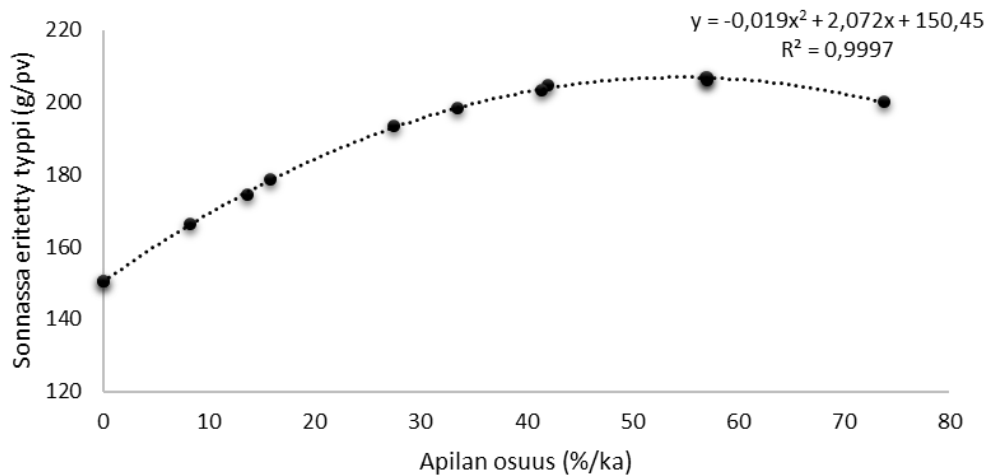
Ensimmäisen asteen mallin mukaiset yhteydet typen eritykseen liittyviin muuttujiin on esitetty taulukossa 14. Mallin mukaan apilan osuuden noustessa 10 %-yksikköä, sonnassa erittyvän typen määrä kasvoi 9,7 g/pv. Sonnan osuus typen erityksestä suureni ja maidon pieneni. Apilan osuuden noustessa dietissä maidon ureatypen pitoisuus pieneni ($p=0,03$). Typen saantiin, typpitaseeseen ja typen eritykseen virtsassa tai maidossa ei havaittu lineaarisen mallin mukaan tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia.

Taulukko 14. Apilan osuuden (%/ka:ssa) vaikutus typen saantiin ja eritykseen ensimmäisen asteen mallin mukaan, kun maissisäilörehua korvattiin apilasäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

	n	Leikkaus- piste	SE	Kulma- kerroin	SE	P-arvo	Selitys- aste
N-saanti (g/pv)	15	543	31,8	0,63	0,612	0,35	0,11
Virtsan N (g/pv)	13	193	26,8	-0,40	0,538	0,50	0
Sonnan N (g/pv)	13	158	7,9	0,97	0,158	0,004	0,82
Maidon N (g/pv)	13	161	12,5	-0,16	0,201	0,46	0,59
Virtsan N osuus (%)	13	33,4	4,88	-0,07	0,087	0,46	0,54
Sonnan N osuus (%)	13	30,0	1,95	0,12	0,027	0,01	0,75
Maidon N osuus (%)	13	30,1	0,83	-0,07	0,019	0,01	0,55
Maidon ureatyyppi (mg/dl)	10	14,5	0,25	-0,08	0,020	0,03	0,99
Typpitase (g/pv)	13	30,7	11,24	0,25	0,076	0,42	0,21

n= havaintojen lukumäärä

SE= keskivirhe (standard error)



Kuva 8. Apilan osuuden ja sonnassa eritetyn typen määrän yhteys, kun maissisäilörehua korvattiin apilasäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

Toisen asteen malli selitti ensimmäisen asteen mallia paremmin sonnassa eritetyn typen määrää (kuva 8). Apilan osuuden ollessa 0 %/ka:ssa sonnan typen erityks oli 150 g/pv. Apilan osuuden lisääntyessä eritetyn typen määrä suureni aina palkokasvin osuuteen 60

%/ka asti, jolloin typen erityys oli lisääntynyt alkutilanteesta 57 g/pv. Maidossa eritetyn typen määrä näytti käyttäytyvän saman suuntaisella tavalla kuin sonnassa eritetyn typen määrä (taulukko 13).

Lypsylehmien typpitaseeseen apilan osuus vaikutti käyräviivaisesti: aluksi typpitase kasvoi, mutta kääntyi laskuun suurilla apilan osuuksilla (taulukko 13). Virtsan typen eritykseen (g/pv) tai osuuteen (%) typen saannista apilan osuudella ei ollut aineistossa tilastollisesti merkitsevää vaikutusta. Apilan osuudella ei myöskään havaittu merkitsevää yhteyttä maidon osuuteen typen erityksestä tai maidon ureatypen pitoisuuteen.

6.5 Sinimailassäilörehun vaikutus korvattaessa maissisäilörehua

Taulukossa 15 on esitetty tunnusluvut osa-aineistosta, jossa maissisäilörehua korvattiin sinimailassäilörehulla. Koko aineiston tunnuslukuihin (taulukko 2) verrattuna osa-aineistossa oli käytetty keskimäärin 1,5 %/ka vähemmän nurmipalkokasvia ja dieetin keskimääräinen raakavalkuaispitoisuus oli lähestulkoon sama. Tässä osa-aineistossa väkirehun osuus dieetistä oli keskimäärin 12,8 %-yksikköä suurempi kuin muissa osa-aineistoissa tai koko aineistossa. Lehmien typen saanti oli tässä osa-aineistossa keskimäärin 51 g/pv suurempi. Virtsan, sonnan ja maidon typen erityksen osuudet olivat keskimäärin samat kuin koko aineistossa (vaihteluväli -0,4 - 1,0 %-yksikköä).

Taulukko 15. Osa-aineiston tilastolliset tunnusluvut, kun maissisäilörehua korvattiin sinimailassäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

	n	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
Dieetin tiedot					
Maissisäilörehun osuus (%)	31	23,3	17,3	0	56,4
Sinimailassäilörehun osuus (%)	31	27,7	18,2	0	60,5
Väkirehun osuus (%)	31	44,6	5,0	35,7	58,3
RV (g/kg ka)	31	171	9	155	189
Ka-syönti (kg/pv)	31	22,9	2,5	17,2	26,8
Tuotostiedot					
Maitotuotos (kg/pv)	31	34,9	5,0	27,8	45,1
EKM (kg/pv)	31	31,3	4,1	24,1	39,5
Valkuaispitoisuus (%)	31	3,08	0,20	2,66	3,52
Rasvapitoisuus (%)	31	3,36	0,49	2,45	4,33
Valkuaistuotos (g/pv)	31	1061	128	860	1320
Rasvatuotos (g/pv)	31	1159	207	700	1560
Typen saanti ja erityys					
N-saanti (g/pv)	31	630	87	434	744
Virtsan määrä (l/pv)	12	26,2	4,7	17,6	33,0
Virtsan N (g/pv)	29	216	51	86	322
Virtsan N osuus (%)	29	34,4	6,0	19,1	49,9
Sonnan määrä (kg/pv)	4	8,8	0,6	8,2	9,3
Sonnan N (g/pv)	29	204	44	150	292
Sonnan N osuus (%)	29	32,8	5,5	24,7	44,4
Maidon N (g/pv)	31	169	21	137	208
Maidon N osuus (%)	31	27,2	4,4	20,4	35,7

n= havaintojen määrä

RV= dieetin raakavalkuainen

EKM = energiakorjattu maitotuotos

Taulukossa 16 on esitetty ensimmäisen asteen yhteydet, kun maissisäilörehua korvattiin sinimailassäilörehulla. Lineaarisen mallin mukaan ka-syönti kasvoi 0,5 kg/pv, kun sinimailasen osuutta dieetissä lisättiin 10 %-yksikköä. Toisen asteen mallin mukaan yhteys oli myös käyräviivainen (kuva 9). Sinimailasen osuuden kasvaessa 10 %:sta 30 %:iin kuiva-aineen syönti nousi noin 1,3 kg/pv. Sinimailasen osuuden 40 % kohdalta kuiva-aineen syönti kääntyi lievään laskuun ja suurimmalla sinimailasen osuudella (60,5 %/ka) kuiva-aineen syönti oli 23 kg/pv.

Sinimailasen osuudella ei ollut tilastollisesti merkitsevää ensimmäisen tai toisen asteen yhteyttä ka-sulavuuteen. Sinimailasen osuuden kasvu suurensi lineaarisesti dieetin raakavalkuaispitoisuutta ($p < 0,001$) ja lehmien energiansaantia ($p = 0,01$). Toisen asteen malli ei parantanut energiansaannin ja raakavalkuaispitoisuuden selitysasteita tai merkitsevyyttä.

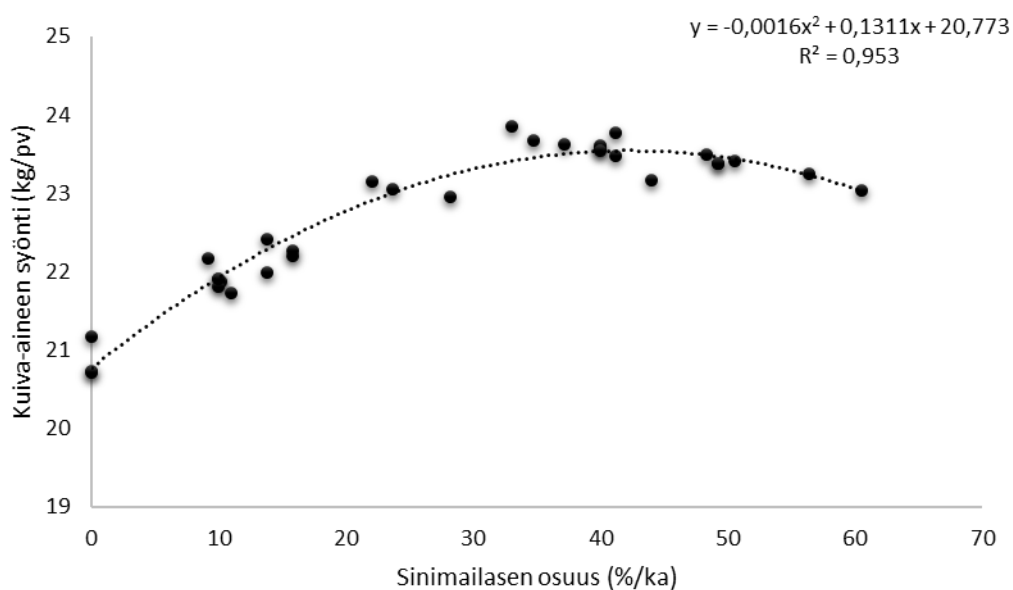
Taulukko 16. Sinimailasen osuuden (%/ka:ssa) vaikutus dieetin koostumukseen ja tuotokseen ensimmäisen asteen mallin mukaan, kun maissisäilörehua korvattiin sinimailassäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

	n	Leikkaus- piste	SE	Kulma- kerroin	SE	P-arvo	Selitys- aste
Ka-syönti (kg/pv)	31	21,4	0,56	0,05	0,012	0,003	0,86
Ka-sulavuus (%)	31	65,8	1,48	0,02	0,026	0,51	0,43
Dieetin rv (g/ kg ka)	31	166	2,5	0,22	0,036	<0,001	0,72
Energiansaanti (MJ, ME/pv)	31	222	5,3	0,31	0,107	0,01	0,36
Maitotuotos (kg/pv)	31	34,0	1,48	-0,001	0,013	0,92	0
EKM (kg/pv)	31	29,4	0,98	0,04	0,015	0,02	0,76
Valkuaistuotos (g/pv)	31	1058	34,3	-0,97	0,421	0,04	0,28
Rasvatuotos (g/pv)	31	997	51,5	4,31	0,792	<0,001	0,95
Valkuaispitoisuus (%)	31	3,12	0,072	-0,001	0,0013	0,56	0,75
Rasvapitoisuus (%)	31	3,04	0,154	0,01	0,0020	<0,001	0,93

n= havaintojen lukumäärä

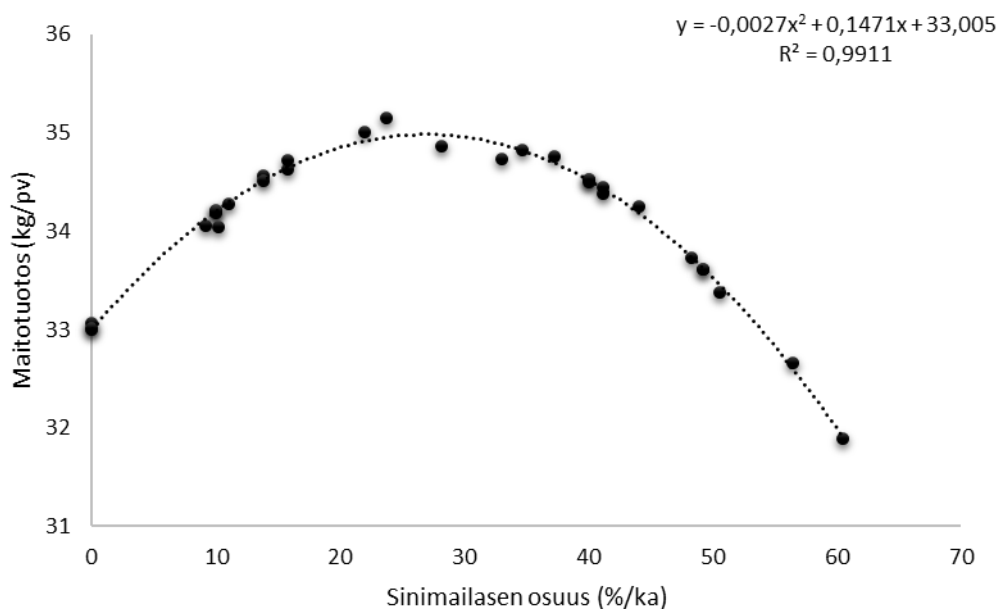
SE= keskivirhe (standard error)

EKM = energiakorjattu maitotuotos



Kuva 9. Sinimailasen osuuden ja ka-syönnin yhteys, kun maissisäilörehua korvattiin sinimailassäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

Maitotuotokseen sinimailasen osuuden havaittiin vaikuttavan käyräviivaisesti (kuva 10). Sinimailasen osuuteen 28 %/ka asti maitotuotos kasvoi. Tämän jälkeen tuotos kääntyi laskuun ja suurimmalla sinimailasen osuudella (60%/ka) maitotuotos oli 32 kg/pv. EKM-tuotos käyttäytyi samalla tavalla käyräviivaisesti kuin maitotuotos (taulukko 17).



Kuva 10. Sinimailasen osuuden ja maitotuotoksen yhteys, kun maissisäilörehua korvattiin sinimailassäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

Lineaarisen mallin mukaan rasvatuotos suureni 43 g/pv, kun sinimailasta lisättiin dieettiin 10 %-yksikköä (taulukko 16). Vaikutus valkuaistuotokseen oli päinvastainen, toisin sanoen valkuaistuotos pieneni 9,7 g/pv samalla sinimailasen osuuden lisäyksellä. Vaikutus valkuaistuotokseen oli käyräviivainen (taulukko 17). Aluksi valkuaistuotos kasvoi, mutta alkoi vähentyä suurimmilla sinimailasen osuuksilla. Maidon valkuaispitoisuuteen sinimailasen osuudella ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta ensimmäisen tai toisen asteen mallissa. Sinimailasen lisääminen dieettiin lisäsi maidon rasvapitoisuutta lineaarisesti ($p=0,001$). Suuntaa antava käyräviivainen yhteys havaittiin maidon ureatypen pitoisuuteen (taulukko 17). Aluksi maidon ureatypen pitoisuus pieneni, mutta alkoi suureta korkeimmilla sinimailasen osuuksilla.

Taulukko 17. Sinimailasen osuuden (%/ka:ssa) vaikutus dieetin koostumukseen, tuotokseen ja typen eritykseen toisen asteen mallin mukaan, kun maissisäilörehua korvattiin sinimailassäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

	n	Leikkaus- piste	SE	1. asteen kerroin	SE	P-arvo	2. asteen kerroin	SE	P-arvo	Selitys- aste
Ka-syönti (kg/pv)	31	20,8	0,53	0,13	0,028	<0,001	-0,002	0,0005	0,03	0,95
Energiansaanti (MJ, ME/pv)	31	214	4,7	1,46	0,381	0,002	-0,022	0,0070	0,03	0,37
Maitotuotos (kg/pv)	31	33,0	1,45	0,15	0,018	<0,001	-0,003	0,0002	<0,001	0,99
EKM (kg/pv)	31	28,5	0,93	0,16	0,022	<0,001	-0,002	0,0003	0,002	0,99
Valkuaistuotos (g/pv)	31	1007	36,4	5,29	0,927	<0,001	-0,109	0,0149	0,002	0,97
Rasvatuotos (g/pv)	31	969	49,9	8,26	1,821	<0,001	-0,073	0,0308	0,08	0,98
Valkuaispitoisuus (%)	31	3,11	0,074	0,001	0,0016	0,38	-0,00004	0,000016	0,06	0,94
N-saanti (g/pv)	31	555	17,4	4,07	0,745	<0,001	-0,04	0,012	0,04	0,98
Maidon ureatyppi (mg/dl)	25	16,6	1,53	-0,13	0,045	0,02	0,001	0,0005	0,06	0,96

n= havaintojen lukumäärä

SE= keskiarvo (standard error)

EKM= energiakorjattu maitotuotos

Taulukko 18. Sinimailassäilörehun osuuden (%/ka:ssa) vaikutus typen saantiin ja eritykseen ensimmäisen asteen mallin mukaan, kun maissisäilörehua korvattiin sinimailassäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

	n	Leikkaus- piste	SE	Kulma- kerroin	SE	P-arvo	Selitys- aste
N-saanti (g/pv)	31	570	18,4	2,03	0,366	<0,001	0,95
Virtsan N (g/pv)	29	216	14,3	-0,001	0,2770	1,00	0
Sonnan N (g/pv)	29	181	13,1	0,95	0,194	0,001	0,94
Maidon N (g/pv)	31	170	6,0	-0,16	0,072	0,04	0,30
Virtsan N osuus (%)	29	37,7	1,77	-0,13	0,046	0,02	0,88
Sonnan N osuus (%)	29	31,8	1,69	0,06	0,014	0,002	0,51
Maidon N osuus (%)	31	29,4	1,52	-0,09	0,022	0,001	0,98
Pötsin NH ₃ (mmol/l)	25	8,51	1,420	0,003	0,0160	0,87	0
Maidon ureatyppi (mg/dl)	25	15,84	1,603	-0,05	0,034	0,16	0,89
Typpitase (g/pv)	29	6,7	13,80	1,10	0,240	0,001	0,90

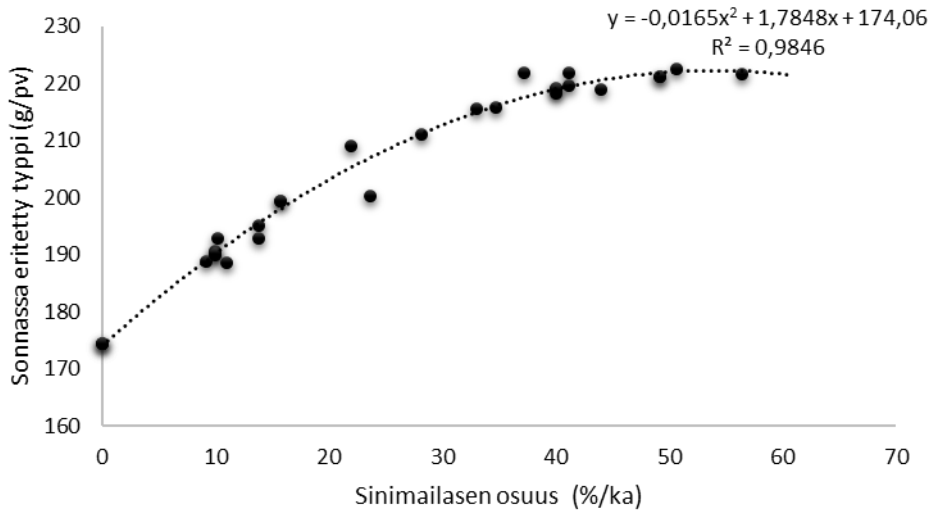
n= havaintojen lukumäärä

SE= keskivirhe (standard error)

EKM = energiakorjattu maitotuotos

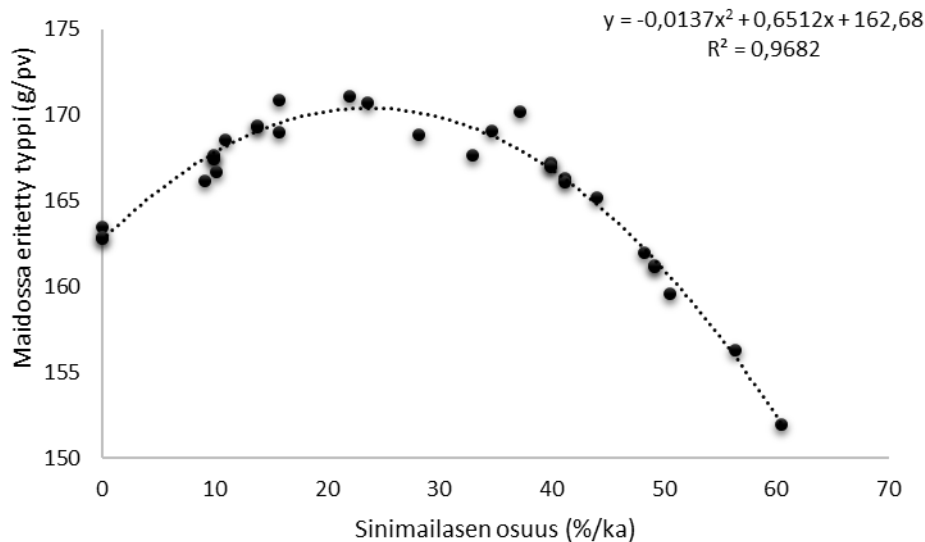
Sinimailasan osuuden kasvaessa dieetissä 10 %-yksikköä lypsylehmien typen saanti lisääntyi lineaarisen mallin mukaan 20 g/pv (taulukko 18). Sinimailasan osuudella ei ollut yhteyttä virtsassa erittyvän typen määrään ensimmäisen tai toisen asteen mallissa.

Ensimmäisen asteen mallin mukaan sinimailasan osuudella oli erittäin merkitsevä yhteys sonnan typen eritykseen, joka kasvoi 9,5 g/pv, kun sinimailasta lisättiin dieettiin 10 %-yksikköä. Maidon typen eritykseen vaikutus oli päinvastainen, toisin sanoen se pieneni 1,6 g/pv samalla sinimailasan lisäyksellä. Toisen asteen malli osoitti vaikutusten olevan myös käyräviivaisia. Kuva 11 esittää sinimailasan osuuden vaikutuksen sonnassa eritetyn typen määrään. Sinimailasan osuuden kasvaessa 20 %:sta 40 %:iin ka:ssa sonnassa eritetyn typen määrä suureni noin 16 g/pv.



Kuva 11. Sinimailasen osuuden ja sonnassa eritetyn typen yhteys, kun maissisäilörehua korvattiin sinimailassäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

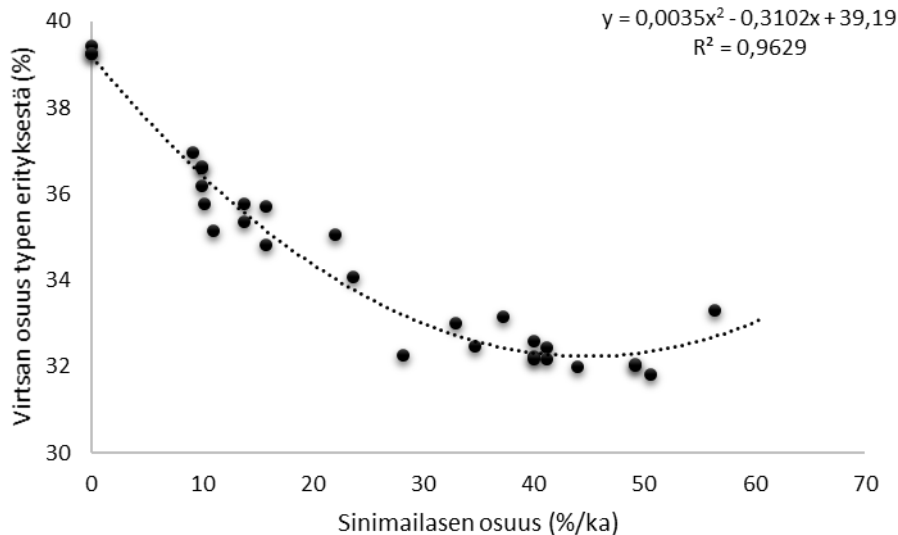
Vastaavasti maidossa eritetyn typen määrä suureni sinimailasen osuuteen 24 %/ka asti (kuva 12). Tämän jälkeen maidossa eritetyn typen määrä pieneni ja oli 152 g/pv suurimmalla sinimailasen osuudella 61 %/ka. Jyrkin lasku tapahtui sinimailasen osuuden 40 %/ka jälkeen, jolloin eritetyn typen määrä oli 167 g/pv.



Kuva 12. Sinimailasen osuuden ja maidossa eritetyn typen yhteys, kun maissisäilörehua korvattiin sinimailassäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

Ensimmäisen asteen mallin mukaan sinimailasen osuudella oli erittäin merkitsevä tai merkitsevä vaikutus typen erityksen osuuteen virtsassa, sonnassa ja maidossa. Sinimailasen osuuden nostaminen 10 %-yksiköllä lisäsi lineaarisen mallin mukaan typen eritystä sonnassa (0,6 %-yksikköä), mutta vähensi virtsassa (1,3 %-yksikköä) ja maidossa

(0,9 %-yksikköä) erittyvän typen osuutta. Toisen asteen mallin mukaan virtsan osuus typen erityksestä sinimailasen osuuden lisääntyessä käyttäytyi käyräviivaisesti (kuva 13). Aluksi typen erityksen osuus virtsassa pieneni. Virtsan osuuden väheneminen typen erityksestä tasaantui, kun sinimailasen osuus dieetin kuiva-aineesta kasvoi yli 40 %:iin.



Kuva 13. Sinimailasen osuuden ja virtsassa erittyvän typen osuuden yhteys, kun maissisäilörehua korvattiin sinimailassäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa.

Sinimailasen osuudella oli käyräviivainen yhteys maidon ureatypen pitoisuuteen. Ureatypen pitoisuus pieneni sinimailasen osuuteen 51 %/ka asti, mutta alkoi sen jälkeen suureta. Typpitaseeseen sinimailasen lisäämisellä oli erittäin merkitsevä lineaarinen yhteys. Sinimailasen osuuden noustessa 10 %-yksikköä typpitase suureni 11 g/pv. Pötsin NH₃-pitoisuuteen sinimailasen osuudella ei ollut tässä tutkimuksessa merkitsevää vaikutusta.

7 TULOSTEN TARKASTELU

Koko aineiston perusteella nurmipalkokasvia sisältävän säilörehun (apila ja sinimailanen) havaittiin lisäävän kuiva-aineen syöntiä käyräviivaisesti. Aluksi syönti suureni, mutta suuremmilla palkokasvin osuuksilla (yli 50 %/ka:ssa) syönti alkoi pienetä. Nurmipalkokasvien rehun syöntiä lisäävä vaikutus perustuu niiden soluseinämien erilaiseen rakenteeseen nurmiheinäkasveihin ja maissiin verrattuna. Nurmipalkokasvit hajoavat eläimen pötsissä nurmiheiniä ja maissia nopeammin pieniksi partikkeleiksi ja virtaavat nopeammin ulos pötsistä (Moseley 1982, Bertilsson ja Murphy 2003).

Apilasäilörehulla lehmien pötsin täyteisyyden on havaittu olevan pienempi kuin nurmisäilörehulla (Shaver ym. 1988).

Nurmipalkokasvilajien (apila ja sinimailanen) vaikutuksia kuiva-aineen syöntiin ja maitotuotokseen tarkastellessa on huomioitava, että kasvilajit voivat vaikuttaa eri tavalla tutkittuihin muuttujiin. Broderick ym. (2000) totesivat, että eläimet söivät puna-apilasäilörehua 1,2 kg/pv vähemmän kuin sinimailasta. Tämä voi selittyä Hoffmanin ym. (1997) mukaan sillä, että puna-apilasta eläimet saivat vähemmän sulavaa kuitua. Kun sulavan kuidun osuus nostettiin puna-apilasäilörehussa samalle tasolle sinimailasen kanssa, lypsylehmien rehun syönti ja maitotuotos alkoivat pienentyä. Aiemmalla kehitysasteella korjatun puna-apilan syönti oli hieman suurempi kuin sinimailasen. Hoffmanin ym. (1998) tutkimuksen lehmät söivät sinimailasta 2,2 kg/pv enemmän kuin nurmisäilörehua. Tässä meta-analyysissä nurmipalkokasvilajien erilainen vaikutus huomioitiin tarkastelemalla kasvilajeja myös erikseen.

Koko aineistossa nurmipalkokasvin osuuden suureneminen vaikutti käyräviivaisesti maitotuotokseen ja EKM:ään. Käyräviivaisuus oli samansuuntainen kuin kuiva-aineen syönnissä, joten syönnin heikkeneminen suurimmilla palkokasvin osuuksilla todennäköisimmin pienensi myös tuotosta. Steinshamn (2010) havaitsi meta-analyysissään, että lehmien maitotuotos kasvoi lineaarisesti 1,6 kg/pv, kun nurmiheinäsäilörehua korvattiin nurmipalkokasvisäilörehulla. Tutkimuksessa tuotoksen kasvua perusteltiin kuiva-aineen syönnin lineaarisella kasvulla, kun nurmipalkokasvia lisätään dieettiin. Myös Thomas ym. (1985) havaitsivat maitotuotoksen nousevan nurmipalkokasvisäilörehulla.

Maidon valkuais- ja rasvatuotoksessa oli samansuuntainen käyräviivainen yhteys kuin maitotuotoksessa (taulukko 4). Tämä johtunee siitä, että maitomäärän suurentuessa myös maidon rasvan ja valkuaisen määrä (g/pv) kasvoi. Nurmipalkokasvin osuus dieetissä ei kuitenkaan vaikuttanut maidon pitoisuuksiin. Aiemmissa tutkimuksissa nurmipalkokasvien vaikutukset maitotuotokseen ja maidon koostumukseen ovat vaihdelleet eri tutkimusten välillä. Hoffman ym. (1997) havaitsivat, että maidon valkuaispitoisuus oli pienempi puna-apilarehulla kuin sinimailasella. Rasvapitoisuuteen tai energiakorjattuun maitotuotokseen puna-apilarehulla ei ollut vaikutusta. Vastaavasti Broderickin ym. (2000) tutkimuksessa puhdasta apilasäilörehua syöneiden lehmien

maidon rasva- ja valkuaispitoisuus olivat pienemmät kuin sinimailassäilörehua syöneiden lehmien.

Meta-analyysin aineistona käytetyt apila ja sinimailanen lisäsivät lypsylehmien typensaantia erittäin merkitsevästi lineaarisessa mallissa (taulukko 5). Vaikutus on yhtenevä dieetin raakavalkuaispitoisuuden kasvun kanssa. Luonnonvarakeskuksen (2018b) mukaan puhtaan puna-apila- tai sinimailaskasvuston raakavalkuaispitoisuus on tavallisimmin 185 - 230 g/kg ka välillä, mikä on selkeästi suurempi kuin nurmiheinäsäilörehun (rv 120 - 175 g/kg ka) tai maissisäilörehun (rv 87 g/kg ka).

Lisäksi typpitaseen eli eläimeen pidättyneen typen määrän havaittiin pienenevän lineaarisesti, kun nurmipalkokasvia lisättiin dieettiin. Toisin sanoen, kun nurmipalkokasvien osuus ruokinnassa oli suuri, lypsylehmät saivat rehusta enemmän typpeä kuin nurmi- tai maissivaltaisesta ruokinnasta. Samaan aikaan typen erityksen osuus sonnassa lisääntyi, mutta maidossa erittyi vähemmän typpeä (taulukko 5). Tämä kertoo huonommasta typen hyväksikäytöstä nurmipalkokasvin osuuden suurentuessa. Saatuja tuloksia tukee Merryn ym. (2006) tutkimus, jossa havaittiin lypsylehmien typen hyväksikäytön olevan alhaisempi puna-apilarehulla kuin kontrolliruokintana käytetyllä nurmirehulla. Dewhurst ym. (2003) ja Cohen ym. (2006) totesivat, että nurmipalkokasvien suurempi typpipitoisuus huononsi typen hyväksikäyttöä maidontuotantoon. Samalla typen eritysvirtsassa suureni.

7.2 Apilasäilörehun vaikutus korvattaessa nurmiheinäsäilörehua

Meta-analyysissä ei havaittu merkitsevää yhteyttä apilan osuuden ja kuiva-aineen syönnin välillä, kun nurmiheinäsäilörehua korvattiin. Useissa aiemmin tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, että puna-apilapitoisella säilörehulla lehmien syönti lisääntyy verrattuna nurmiheiniin (Bertilsson ja Murphy 2003, Al-Mabruk ym. 2004, Johansen ym. 2017). Wilman ja Williams (1993) havaitsivat, että eläimet söivät enemmän valkoapila-nurmisäilörehun sekoitusta kuin pelkkää nurmea. Toisaalta Bertilsson ja Murphy (2003) ja Kuoppala (2010) huomasivat, että ensimmäisen sadonkorjuun puna-apilasäilörehun syönti oli pienempi kuin samaan aikaan korjatun nurmiheinäsäilörehun. Tähän vaikutti todennäköisesti Kuoppalan (2010) mukaan puna-apilasäilörehun sisältämien ravintoaineiden epätasapaino. Tässä meta-analyysissä ei ollut mahdollista ottaa huomioon nurmipalkokasvin korjuuastetta, joka vaikuttaa kasvilajin ohella lehmien

karkearehun syöntiin. Lisäksi apilan puskurikapasiteetti on korkea, mikä vaikeuttaa rehun säilöntää (Pitt 1990). Apilassa on pienempi sokeri- ja kuiva-ainepitoisuus kuin nurmiheinissä (Luonnonvarakeskus 2018b). Puna-apilaa sisältävän säilörehun käymislaatu voi siten olla heikompi, mikä vähentää lehmien rehun syöntiä.

Huhtasen ym. (2007) ja Kuoppalan (2010) mukaan puhtaan apilasäilörehun syönti on vähäisempi kuin nurmen ja apilarehun sekoituksen. Tämän meta-analyysin osa-aineiston keskimääräinen palkokasvin osuus dieetistä oli 22,5 %/ka (taulukko 7) ja keskimääräinen osuus karkearehusta oli 50 %/ka. Aineistossa oli mukana tutkimuksia, joissa palkokasvin osuus oli suuri (yli 60 %/ka:ssa). Todennäköisesti tästä syystä vaikutus kuiva-aineen syöntiin ei tullut merkitseväksi lineaarisessa mallissa. Tätä oletusta tukee Tuorin ym. (2002) tutkimus, jossa puna-apilan osuuden kasvaessa 0:sta 67 %:iin karkearehusta kuiva-aineen syönti suureni. Tämän jälkeen kuiva-aineen syönti pieneni ja oli pienimmillään puhtaalla puna-apilaruokinnalla.

7.2.1 Maitotuotos ja maidon koostumus

Tässä tutkimuksessa apilan osuuden suurenemisen havaittiin lisäävän maitotuotosta lineaarisesti. Vaikutus oli yhtenevä Thomasin ym. (1985), Bertilssonin ja Murphyn (2003), Dewhurstin (2003), Leen ym. (2009a) ja Johansenin ym. (2017) tutkimuksissa saatujen tulosten kanssa. Meta-analyysissä maitotuotos suureni, vaikka kuiva-aineen syöntiin ei havaittu vaikutusta. Maidontuotannon suureneminen voi selittyä osittain dieetin raakavalkuaispitoisuuden ja typen saannin lineaarisella kasvulla apilan osuuden kasvaessa (taulukot 3 ja 5). Halmemies-Beauchet-Filleaun ym. (2014) mukaan maidontuotannon suurenemista voi selittää myös lehmien kyky käyttää nurmipalkokasvia sisältävän dieetin energia paremmin hyödykseen. Tämän ohella on mahdollista, että lehmät mobilisoivat kehonsa energiavarastoja maidontuotantoon apilasäilörehulla (Moorby ym. 2009). Kudosvarastojen käyttöä ei meta-analyysissä voitu analysoida, koska lehmien elopainon muutosta ei ollut raportoitu analyysiin valikoituneissa tutkimuksissa.

Aineiston perusteella havaittiin, että apilan osuuden kasvu pienensi maidon rasvapitoisuutta. Samoin havaitsivat myös Thomas ym. (1985) tutkimuksessaan. Apilan vaikutusta maidon rasvapitoisuuteen on selitetty pötsissä muodostuvien haihtuvien rasvahappojen osuuksien muutoksella. Apilarehulla pötsissä muodostuu vähemmän

voihappoa kuin nurmirehulla, mikä voi vähentää maidon rasvasynteesiä (Vanhatalo ym. 2007, Kuoppala 2010). Myös pitkäketjuisten rasvahappojen määrän lisääntyminen veressä apilasäilörehuruokinnalla voi selittää apilan maidon rasvapitoisuutta alentavaa vaikutusta. Pitkäketjuiset rasvahapot estävät *de novo*-synteesiä maitorauhasessa (Vanhatalo ym. 2007). Bertilssonin ja Murphyn (2003) ja Johansenin ym. (2017) mukaan puna-apilan on havaittu alentavan maidon rasva- ja valkuaispitoisuuksia. Tässä tutkimuksessa valkuaispitoisuuteen tai -tuotokseen ei havaittu vaikutusta. Saatu tulos on yhtenevä Steinshammnin (2010) analyysin kanssa. Toisaalta muissa tutkimuksissa (Bertilsson ja Murphy 2003, Moorby ym. 2009, Vanhatalo ym. 2009) maidon valkuaisyynteesin on havaittu heikkenevän apilasäilörehuruokinnalla. Tämä johtuu Halmemies-Beauchet-Filleaun ym. (2014) mukaan valkuaisyynteesiin tarvittavien ja saatavissa olevien aminohappojen epätasapainosta.

Energiakorjattuun maitotuotokseen apilan osuuden lisääminen vaikutti käyräviivaisesti. Suurilla palkokasvin osuuksilla EKM-tuotos alkoi pienetä. Vaikutus oli suuntaa antava ($p=0,10$). Dewhurstin ym. (2003) mukaan apilasäilörehuruokinnalla lehmien energiakorjattu maitotuotos olisi suurempi kuin nurmisäilörehulla. Samassa tutkimuksessa maidon rasvapitoisuus nousi apilaruokinnalla. Meta-analyysissä havaittu heikko yhteys nurmipalkokasvin osuuden ja energiakorjatun maitotuotoksen välillä selittynee rasvapitoisuuden pienenemisellä ja sillä ettei maidon valkuaispitoisuuteen havaittu vaikutusta.

7.2.2 Typen erityys

Korvattaessa nurmiheinäsäilörehua apilalla maidossa eritetyn typen osuus laski lineaarisesti. Saman suuntaisen vaikutuksen havaitsivat myös Bertilsson ja Murphy (2003), joiden mukaan apilarehulla typpeä erittyi maitoon noin 20 % typen kokonaiserityksestä. Nurmiheinäruokinnalla erityys oli korkein (26 %), mikä näkyi myös apiladieettiä suurempana valkuaisuutoksena. Dewhurst ym. (2003) raportoivat, että typen hyväksikäyttö maidontuotantoon oli puhtaalla puna-apilasäilörehuruokinnalla huonompi verrattuna puhtaaseen nurmiheinäsäilörehuun tai seokseen (50:50) nurmiheinäsäilörehun kanssa.

Samassa tutkimuksessa (Dewhurst ym. 2003) huonompi typen hyväksikäyttö maidontuotantoon näkyi suurempana virtsassa eritetyn typen määränä (g/pv). Saman suuntaisen vaikutus oli havaittavissa myös tässä meta-analyysissä. Aineistossa apilan

osuuden kasvaessa myös typen erityksen määrä (g/pv) ja osuus (%) virtsassa suureni. Saatu tulos on yhtenevä Leen ym. (2009a) tutkimuksen kanssa, jossa typen erityksessä virtsassa kasvoi puna-apilaruokinnalla 7 %-yksikköä verrattuna kontrollidieetillä käytettyyn nurmeen. Bertilsson ja Murphy (2003) totesivat, että puhtaalla puna-apiladieetillä lehmien typen saanti ja typen erityksessä olivat suurempia kuin pelkkää nurmisäilörehua sisältävällä dieetillä. Lisäksi typpeä eritettiin enemmän virtsassa.

Dieetin apilan osuuden lisääminen ei vaikuttanut tässä meta-analyysissä sonnassa erittyvän typen osuuteen, vaikka apilan osuuden kasvu lisäsi typen eritystä sonnassa (g/pv) lineaarisesti. Tammingan (1992) ja Van Soestin (1994) mukaan sonnassa erittyvän typen määrää vähentämällä ei kyetä vaikuttamaan lypsylehmien typpipäästöihin tehokkaalla tavalla. Ruokinnallisten keinojen sijasta olisi tärkeä minimoida lannasta varastoinnin, käsittelyn ja levityksen aikana haihtuva typpi (Amon ym. 2001).

Meta-analyysissä apilan osuuden kasvaessa maidon ureatypen pitoisuus suureni lineaarisesti. Maidon ureatypen kautta voidaan arvioida valkuaisruokinnan onnistumista, sillä se kertoo maksan tuottamasta urean määrästä (Van Soest 1994). Lisäämällä apilan osuutta dieetissä raakavalkeaisen pitoisuus ja typen saanti nousivat lineaarisesti, kuten meta-analyysissä havaittiin (taulukko 8 ja 10). Suurilla apilan osuuksilla eläimen tarpeeseen nähden ylimääräinen typpi muutetaan ureaksi ja maidon ureatypen pitoisuus nousee (Van Soest 1994).

7.3 Apilasäilörehun vaikutus korvattaessa maissisäilörehua

Tässä tutkimuksessa maissisäilörehun korvaaminen puna-apilasäilörehulla ei vaikuttanut lypsylehmien kuiva-aineen syöntiin. Moorbyn ym. (2008) tutkimuksessa maissisäilörehun korvaaminen apilalla lisäsi kuiva-aineen syöntiä, mutta yli 50 % apilan osuuksilla syönti alkoi vähentyä. Vastaavasti Chengin ym. (2011) tutkimuksessa havaittiin, että eläimet söivät puhdasta puna-apilaa enemmän kuin puna-apilan ja maissin sekoitusta (40:60). Allenin (2000) mukaan lehmät syövät enemmän nurmipalkokasvi- tai maissisäilörehua kuin nurmisäilörehua. Tämä johtunee siitä, että heinäkasvien nurmirehun kuidut ovat pidempiä kuin maissin tai nurmipalkokasvien, joten nurmiheinärehu fermentoituu pötsissä hitaammin (Dewhurst ym. 2010). Moorbyn ym. (2008) mukaan sopivaa suhdetta maissisäilörehun korvaamiselle apilasäilörehulla ei ole vielä tiedossa.

Tässä aineistossa apilan osuus oli dieeteissä keskimäärin 29 %/ka:ssa ja karkearehussa keskimäärin 50 %. Kaikista tämän osa-aineiston havainnoista (n=15) yli 55 % karkearehusta oli palkokasvia kahdeksassa havainnossa. On todennäköistä, että suuret apilapitoisuudet vaikuttavat koko aineistoon samalla tavalla kuin tilanteessa, jossa nurmisäilörehua korvataan apilalla. Näin ollen kuiva-aineen syönnin ja apilan osuuden välillä on vaikea havaita ensimmäisen tai toisen asteen yhteyttä, kun havaintojen määrä on pieni.

7.3.1 Maitotuotos ja maidon koostumus

Tutkimuksen tulosten mukaan apilan osuuden vaikutus maito- ja EKM-tuotokseen oli käyräviivainen eli aluksi tuotos suureni, mutta korkeilla apilasäilörehun osuuksilla tuotos alkoi pienentyä. Maitotuotoksen pienentymistä selittänee kuiva-aineen sulavuuden heikkeneminen apilan osuuden suurentuessa dieetissä. Samaan aikaan myös energian saanti väheni. On myös mahdollista, että lypsylehmät käyttivät omia kudosvarastojaan maidontuotannon kasvattamiseen (Moorby ym. 2009). Apilasäilörehun vaikutus maidontuotantoon voi selittyä myös apilaruokintojen vähäisellä metioniinin saannilla, joka mahdollisesti laskee maitotuotosta suurilla apilan osuuksilla (Vanhatalo ym. 2009). Meta-analyysissä saatu tulos on yhtenevä Moorbyn ym. (2008) tutkimuksen kanssa, jossa apilan osuuteen 50 %/ka asti maitotuotos suureni, mutta alkoi tämän jälkeen pienentyä.

Tässä aineistossa maidon valkuais- ja rasvatuotos käyttäytyivät samalla tavalla kuin maitotuotos. Rasva- ja valkuaisuotoksen kasvu pienehköillä apilan osuuksilla selittynee maitotuotoksen kasvulla, koska apilan osuuden ei havaittu vaikuttavan maidon pitoisuuksiin. Suurilla apilan osuuksilla (yli 50 %/ka:ssa) pienentynyt valkuaisuotosto voi selittyä Moorbyn ym. (2009) mukaan pötsin valkuaisen ja hiilihydraattien suhteella. Toisin sanoen suurella apilapitoisuudella pötsissä on paljon valkuaista mutta niukasti hiilihydraatteja. Tällöin pötsin ammoniakkipitoisuus nousee, mutta pötsimikrobeilla ei ole riittävästi energiaa muuttamaan ammoniakki mikrobivalkuaiseksi (Van Soest 1994). Heikentynyt mikrobivalkuaisen tuotto heikentää myös maidon valkuaisyynteesiä.

7.3.2 Typen erityys

Osa-aineistossa apilan osuuden ja typen saannin välillä ei havaittu yhteyttä. Tämä on todennäköisesti seurausta siitä, että apilapitoisuuden lisääminen ei vaikuttanut kuiva-aineen syöntiin. Apilan osuuden ja dieetin raakavalkuaispitoisuuden välillä ei myöskään ollut yhteyttä. Tähän vaikutti se, että osa tämän osa-aineiston kokeista oli suunniteltu siten, että dieettien raakavalkuaispitoisuudet oli pyritty tasapainottamaan.

Meta-analyysin tuloksissa sonnassa erittyvän typen osuus (Sonnin N/N saanti) kasvoi lineaarisesti apilapitoisuuden suurenessa. Tähän vaikuttaa pötsissä hajoavan valkuaisen osuuden pieneneminen, kun apilan osuus kasvaa dieetissä (Moorby ym. 2016). Lisäksi apila sisältää luontaisesti polyfenolioksidaasi-entsyymiä, joka voi vähentää valkuaisen hajoamista (Lee 2014). Tämä johtaa ohitusvalkuaisen ja kokonaan ruuansulatuskanavassa sulamattoman valkuaisen osuuden suurenemiseen, jolloin sonnassa eritettävän typen määrä lisääntyy (Benchaar ym. 2015, Schulz ym. 2018).

Apilasäilörehun osuudella ei ollut vaikutusta virtsassa eritettävän typen määrään. Tähän oli todennäköisesti syynä se, että apilan osuuden lisääminen ei kasvattanut dieetin raakavalkuaisen pitoisuutta. Dewhurst ym. (2010) mukaan tulisi huomioida, että virtsassa erittyvän typen määrä voi olla todellista eritystä pienempi. Tutkimuksessaan he huomasivat, että typen mittaukseen käytetyt tutkimusmenetelmät ja analyysit ovat käytännössä vaikeita toteuttaa.

Meta-analyysissä maidossa erittyvän typen osuus pieneni, samoin havaitsivat myös Moorby ym. (2008). Valkuaisen hyväksikäytön on todettu huononevan apilan osuuden suurenessa, koska maissisäilörehusta peräisin olevien hiilihydraattien määrä pienenee (Moorby ym. 2016, Schulz ym. 2018). Myös maidon ureatypen pitoisuuden havaittiin pienenevän lineaarisesti, kun apilan osuus suureni dieetissä. Schultz ym. (2018) havaitsivat, että maidon ureatypen pitoisuus alenee yhtä aikaa virtsan typen erityksen kanssa. Samaa yhteyttä ei havaittu tässä meta-analyysissä.

Apilan osuuden kasvaessa lehmien typpitase parani, mutta kääntyi laskuun korkeimmilla osuuksilla. Lehtiin pidättyvän typen määrää yliarvioidaan helposti (Dewhurst ym. 2010, Moorby ym. 2009). Lisäksi kehon typpitaseen muutoksia ei huomioida typpitaseen laskennassa, mikä voi omalta osaltaan aiheuttaa epätarkkuuksia erityisesti virtsassa

eritettävän tyypin määrään (Schulz ym. 2018). Tämä hankaloittaa tyypitasetulosten tulkitsemista.

7.4 Sinimailassäilörehun vaikutus korvattaessa maissisäilörehua

Kuiva-aineen syönti käyttäytyi meta-analyysin aineistossa käyräviivaisesti (kuva 9). Aiemmissä tutkimuksissa kuiva-aineen syönnissä on havaittu eroja eri tutkimusten välillä. Colenbranderin ym. (1986) ja Onettin ym. (2002) mukaan lisättäessä sinimailassäilörehua dieettiin lehmien rehun syönti oli suurempi kuin puhtaalla maissisäilörehulla. Vastaavasti Broderickin (1985) tekemässä tutkimuksessa ei havaittu eroa syönnissä pelkästään maissisäilörehua ja maissi- ja sinimailassäilörehua sisältävien dieettien välillä, kun sinimailasen osuus oli suuri (60 %/ka). Dhiman ja Satter (1997) eivät havainneet tutkimuksessaan eroa kuiva-aineen syönnissä puhtaalla sinimailasrehulla verrattuna dieetteihin, joissa oli 2/3 tai 1/3 sinimailasta. Colenbranderin ym. (1986) tutkimuksessa lehmät söivät maissi- ja sinimailassäilörehun sekoitusta (50:50) saman verran kuin puhdasta sinimailassäilörehua.

7.4.1 Maitotuotos ja maidon koostumus

Maito- ja EKM-tuotoksiin maissin korvaaminen sinimailasella vaikutti samaan suuntaan käyräviivaisella tavalla kuin kuiva-aineen syöntiin: suurilla palkokasvin osuuksilla tuotos pieneni (kuva 10 ja taulukko 17). Broderick (1985) havaitsi omassa tutkimuksessaan, että maitotuotos lisääntyi sinimailasta sisältävillä dieeteillä, mutta energiakorjattu maitotuotos jäi pienemmäksi kuin maissiruokinnolla. Dhimanin ja Satterin (1997) mukaan 305 päivän maitotuotos oli alhaisempi puhtaalla sinimailasruokinnalla kuin maissiruokinnalla. Vastaavasti Onet ym. (2002) eivät havainneet sinimailasen osuudella yhteyttä maitotuotokseen. Eri tutkimusten vaihtelevia tuloksia voi selittää Shaverin ym. (1988) mukaan se, että sinimailasen korjuuaste voi vaikuttaa oleellisesti maitotuotokseen. Hänen tekemässä tutkimuksessaan alkukukinnalla korjatun sinimailasen maitotuotosvaste oli parempi kuin maissilla, kun taas kukkivana korjatun kasvuston maitotuotosvaste huonompi. Dhiman ja Satter (1993) totesivat, että lypsylehmät tuottavat paremmin suurilla sinimailasen pitoisuuksilla, jos dieetti tasapainotetaan riittävällä pötsissä hajoamattoman valkuaisen määrällä. Colenbranderin ym. (1988) mukaan sinimailassäilörehulla ei ollut vaikutusta maitotuotokseen tai maidon koostumukseen, kun maissi- ja sinimailassäilörehu sisälsivät saman verran kuitua.

Meta-analyysissä rasvatuotos sekä maidon valkuaispitoisuus suurentivat käyräviivaisesti sinimailasen osuuden kasvaessa. Rasvapitoisuus kasvoi lineaarisesti. Saman suuntaisia tuloksia saivat Dhiman ja Satter (1997), jotka totesivat, että maidon valkuaispitoisuus oli puhtaalla sinimailassäilörehudieetillä alhaisempi kuin 2/3 ja 1/3 sinimailassäilörehua sisältäneillä dieeteillä. Myös Broderickin (1985) tutkimuksessa valkuais- ja rasvapitoisuudet olivat alhaisemmat dieetillä, jossa sinimailasen osuus oli 60 %/ka kuin maissisäilörehudieetillä. Onetin ym. (2002) mukaan sinimailasen osuuden lisäämisen myötä kasvanut syönti näkyi myös suurempana maidon rasvatuotoksena ja rasvapitoisuutena. Syönnin ohella myös pötsin haihtuvien rasvahappojen muutos vaikuttaa maidon koostumukseen (Kuoppala 2010). Puhtaalla maissisäilörehuruokinnalla pötsin propionihapon pitoisuus suurenee ja etikkahapon pitoisuus pienenee. Muutos heikentää maidon rasvasynteesiä (Hassanat ym. 2013). Sinimailasen osuuden kasvaessa maissin osuus pienenee, joten haihtuvien rasvahappojen suhde muuttuu maidon rasvasynteesin kannalta suotuisampaan suuntaan. Pötsin haihtuvien rasvahappojen muutosta eri karkearehuilla ei tutkittu tässä meta-analyysissä.

7.4.2 Typen erityys

Meta-analyysissä typen saanti käyttäytyi käyräviivaisesti (taulukko 17) ja seurasi kuiva-aineen syöntiä (kuva 9). Samalla tavalla käyttäytyi myös sontaan ja maitoon eritetyn typen määrä (g/pv). Saatuja tuloksia tukee Dhimanin ja Satterin (1997) havainto, että puhtaalla sinimailasruokinnalla erittyi vähemmän typpeä maitoon kuin 2/3 sinimailasta sisältäneellä ruokinnalla. Puhtaalla sinimailasella havaittiin myös nurmeen verrattuna pienempi typen hyväksikäyttö maidontuotantoon (Dewhurst ym. 2003).

Typen hyväksikäyttöä huonontaa suurempi pötsissä hajoavan valkuaisen määrä verrattuna pötsissä hajoamattoman valkuaisen määrään. Lisäksi typen hyväksikäyttöön vaikuttaa myös dieetin tärkkelyksen määrä (Arndt ym. 2015). Typpeä hukataan, jos pötsimikrobeilla ei ole riittävästi energiaa sitomaan nopeasti hajoavaa valkuaista. Dewhurst (2013) havaitsi typen hyväksikäytön maidontuotantoon kohentuvan, jos kuiva-aineen syöntiä kyetään lisäämään ilman typen saannin suurenemista. Samaan aikaan typen erityys virtsassa väheni.

Sinimailasen osuuden suureneminen ei tässä aineistoissa vaikuttanut merkittävästi virtsassa erittyvän typen määrään (g/pv), vaikka lehmien typen saanti kasvoi. Sen sijaan

virtsan osuus typen saannista väheni käyräviivaisesti (kuva 13). Suunta oli päinvastainen typen saantiin verrattuna. Ruppert ym. (2003) ja Brito ym. (2006) huomasivat, ettei typen saanti ja virtsan typen erityis korreloi suoraan toisiinsa. Typen eritykseen virtsassa vaikuttaa myös typen pidättyminen.

Verrattuna puhtaaseen sinimailasdieettiin Dhiman ja Satter (1997) havaitsivat, että pötsin NH_3 -pitoisuus ja typen erityis olivat 6-15 % alhaisemmat, kun dieetissä oli sinimailassäilörehun lisäksi 1/3 tai 2/3 maissisäilörehua. Tässä meta-analyysissä sinimailasan osuudella ei ollut yhteyttä pötsin ammoniakkipitoisuuteen. Tämä viittaa siihen, että sinimailasan osuudella ei ollut vaikutusta pötsimikrobien kykyyn käyttää hyväkseen dieetin typpeä.

Typitaseen havaittiin suurenevan 11 g/pv sinimailasan osuuden lisääntyessä 10 %-yksikköä. Dhiman ja Satter (1997) havaitsivat suuremman valkuaisen pidättymisen kehoon puhtaalla mailassäilörehulla verrattuna 2/3 mailasta sisältävään dieettiin. Tätä voi selittää se, että paljon sinimailasta sisältänyttä rehua syöneiden lehmien kyky hyödyntää rehun typpeä oli kohentunut (Ruppert ym. 2003). Tällöin typen pidättyminen lisääntyy.

Albrechtin ja Beauchemin (2003) mukaan sinimailassäilörehua olisi parempi käyttää yhdessä maissin kanssa tai täydentää pötsissä hajoamattomalla valkuaisella. Sinimailanen sisältää paljon raakavalkuaista ja pötsissä hajoavaa valkuaista. Liiallinen pötsissä hajoavan valkuaisen määrä suurentaa pötsin ammoniakkipitoisuutta. Lisäksi maissi sisältää runsaasti hiilihydraatteja, jotka tukevat mikrobivalkuaisen tuotantoa pötsissä (McDonald ym. 2011).

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Meta-analyysin perusteella suurempi nurmipalkokasvien (apila ja sinimailanen) osuus dieetissä lisäsi koko aineistoa tarkastellessa lypsylehmien kuiva-aineen syöntiä sekä maito- ja EKM-tuotosta käyräviivaisesti. Maidon pitoisuuksiin nurmipalkokasvin osuudella ei havaittu vaikutusta. Nurmipalkokasvin osuuden suureneminen 10 %-yksikköä lisäsi lypsylehmien typen saantia lineaarisesti (+12,9 g/pv), minkä havaittiin heikentävän typen hyväksikäyttöä. Tämä näkyi suurempana typen erityksenä sonnassa (+0,4 %-yksikköä). Samaan aikaan typen hyväksikäyttö maidontuotantoon heikkeni

(maidossa erittyvä typen osuus pieneni 0,1 %-yksikköä). Virtsassa erittyvän typen määrään nurmipalkokasvin osuudella ei koko aineiston perusteella ollut vaikutusta.

Aineistoon sisältyvissä tutkimuksissa nurmiheinäsäilörehua oli korvattu yleensä apilasäilörehulla, kun taas maissisäilörehua oli korvattu joko sinimailas- tai apilasäilörehulla. Kun maissisäilörehua korvattiin sinimailasella, kuiva-aineen syönti väheni käyräviivaisesti. Korvattaessa nurmiheinä- tai maissisäilörehua apilasäilörehulla kuiva-aineen syöntiin ei havaittu vaikutusta. Vaikutuksen vähäisyyttä voi selittää se, että lypsylehmien syöntiin vaikuttavat karkearehun lähteen lisäksi esimerkiksi apilan korjuu aika ja säilönnän onnistuminen. Näitä tekijöitä ei meta-analysissä voitu ottaa huomioon. Lisätutkimusta tarvitaan apilasäilörehun korjuuajan vaikutuksista lypsylehmien rehun syöntiin korvattaessa apilalla nurmiheinä- tai maissisäilörehua. Lisätutkimuksen avulla voitaisiin tarkemmin määrittää, mikä olisi sopiva apilan osuus dieetissä ilman typpipäästöjen kohtuutonta suurenemista.

Nurmiheinäsäilörehun korvaaminen apilasäilörehulla lisäsi maitotuotosta lineaarisesti. Vastaavasti maissisäilörehun korvaaminen nurmipalkokasvilla (apila tai sinimailanen) vaikutti maitotuotokseen käyräviivaisesti: korkeimmilla nurmipalkokasvin osuuksilla tuotos alkoi vähentyä. Energiakorjattuun maitotuotokseen havaittiin positiivinen vaikutus tilanteissa, joissa maissisäilörehua korvattiin sinimailasella tai apilalla. Apilan ja sinimailasen lisääminen dieettiin kasvatti aluksi energiakorjattua maitotuotosta, mutta suuremmilla osuuksilla vähensi sitä. Nurmiheinäsäilörehun korvaaminen apilalla ei vaikuttanut EKM-tuotokseen, mikä selittynee, sillä että maidon rasvapitoisuus pieneni (-0,1 g/kg) ja valkuaispitoisuuteen ei havaittu yhteyttä. Kun maissisäilörehua korvattiin sinimailasella maidon valkuaispitoisuus, pieneni käyräviivaisesti. Toisin sanoen suurilla (yli 50 %/ka:ssa) osuuksilla valkuaispitoisuus alkoi pienentyä.

Kun maissi- tai nurmiheinäsäilörehua korvattiin sinimailas- tai apilasäilörehulla suurentunut kuiva-aineen syönti ja dieetin raakavalkuaispitoisuus lisäsivät lypsylehmien typen saantia. Korvattaessa maissisäilörehua apilalla virtsan typen osuus typen saannista ei muuttunut. Sen sijaan sinimailasen lisääminen dieettiin pienensi virtsan typen osuutta käyräviivaisesti. Maissisäilörehun korvaaminen sinimailassäilörehulla (10 %-yksikön muutos) lisäsi lineaarisesti sonnassa erittyvän typen osuutta (+0,6 %-yksikköä), mutta vähensi maidossa erittyvän typen osuutta (-1,0 %-yksikköä). Vastaavasti nurmiheinäsäilörehun korvaaminen apilalla (10 %-yksikön muutos), kasvatti virtsassa

erittyvän typen osuutta (+1,1 %-yksikköä) ja vähensi maidossa erittyvän typen osuutta (-1,0 %-yksikköä).

Erityisesti virtsan kautta tapahtuvia typpipäästöjä olisi tärkeä pystyä hallitsemaan, koska virtsan typpi on alttiimpaa ilmaan haihtumiselle kuin sonnan typpi. Nurmiheinän korvaaminen apilalla kasvatti virtsan typen erityksen osuutta, kun taas maissin korvaaminen apilalla tai sinimailasella kasvatti sonnan typen erityksen osuutta.

Tulosten perusteella tuotoksen lisäys suhteutettuna typen hyväksikäyttöön oli parempi, kun nurmiheinäsäilörehun korvaaminen apilalla oli maltillista, alle 60 %/ka:ssa, kuin tätä korkeammilla osuuksilla. Vastaavasti maissisäilörehuun perustuvalla ruokinnalla maitotuotos lisääntyi ja typpipäästöjen kasvu oli vähäistä, kun apilan tai sinimailasen osuus oli enintään 40 %/ka:ssa.

LÄHTEET

- Ahvenjärvi, S. & Huhtanen, P. 2018. Effects of intraruminal urea-nitrogen infusions on feed intake, nitrogen utilization, and milk yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 101: 9004-9015.
- Aland, A., Lidfors, L. & Ekesbo, I. 2002. Diurnal distribution of dairy cow defecation and urination. *Applied Animal Behaviour Science* 78: 43-54.
- Albrecht, K.A. & Beauchemin, K.A. 2003. Alfalfa and other perennial legume silage. *Silage Science and Technology, Agronomy* 42: 633-664.
- Allen, M. S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed in-take by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 83: 1598-1624.
- Al-Mabruk, R.M., Beck, N.F.G. & Dewhurst, R.J. 2004. Effects of silage species and supplemental vitamin E on the oxidative stability of milk. *Journal of Dairy Science* 87: 406-412
- Amon, B., Amon, T., Boxberg, J. & Alt, C. 2001. Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60: 103-113.
- Arndt, C., Powell, J. M., Aguerre, M. J. & Wattiaux, M. A. 2015. Performance, digestion, nitrogen balance, and emission of manure ammonia, enteric methane, and carbon dioxide in lactating cows fed diets with varying alfalfa silage-to-corn silage ratios. *Journal of Dairy Science* 98: 418-430.

- Bayat, A. R., Rinne, M., Kuoppala, K., Ahvenjärvi, S., Vanhatalo, A. & Huhtanen, P. 2010. Ruminant large and small particle kinetics in dairy cows fed red clover and grass silages harvested at two stages of growth. *Animal Feed Science and Technology* 155: 86-98.
- Benchaar, C., Petit, H. V., Berthiaume, R., Ouellet, D. R., Chiquette, J. & Chouinard, P. Y. 2007. Effects of essential oils on digestion, ruminal fermentation, rumen microbial populations, milk production, and milk composition in dairy cows fed alfalfa silage or corn silage. *Journal of Dairy Science* 90: 886-897.
- Benchaar, C., Hassanat, F., Martineau, R. & Gervais, R. 2015. Linseed oil supplementation to dairy cow fed diets based on red clover silage or corn silage: effects on methane production, rumen fermentation, nutrient digestibility, N balance, and milk production. *Journal of Dairy Science* 98: 7993-8008.
- Bertilsson, J. & Murphy, M. 2003. Effects of feeding clover silages on feed intake, milk production and digestion in dairy cows. *Grass and Forage Science* 58: 309-322.
- Bertilsson, J., Åkerlind, M. & Eriksson, T. 2017. The effects of high-sugar ryegrass/red clover silage diets on intake, production, digestibility and N utilization in dairy cows, as measured in vivo and predicted by the NorFor model. *Journal of Dairy Science* 100: 7990-8003.
- Brito, A. F. & Broderick, G. A. 2006. Effect of varying dietary ratios of alfalfa silage to corn silage on production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89: 3924-3938.
- Broderick, G. A. 1985. Alfalfa silage or hay versus corn silage as the sole forage for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 68: 3262-3271.
- Broderick, G. A. & Albrecht, K. A. 1997. Ruminant in vitro degradation of protein in tannin free and tannin-containing forage legume species. *Crop Science* 37: 1884-1891.
- Broderick, G. A. & Clayton, M. K. 1997. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *Journal of Dairy Science* 80: 2964-2971.
- Broderick, G. A., Walgenbach, R. P. & Maignan, S. 2001. Production of lactating dairy cows fed alfalfa or red clover silage at equal dry matter or crude protein contents in the diet. *Journal of Dairy Science*: 84: 1728-1737.
- Broderick, G. A., Walgenbach, R. P. & Sterrenburg, E. 2000. Performance of lactating dairy cows fed alfalfa or red clover silage as the sole forage. *Journal of Dairy Science* 83: 1543-1551.

- Chadwick, D., Sommer, S., Thorman, R., Fanguero, D., Cardenas, L., Amon, B. & Misselbrook, T. 2011. Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 514-531.
- Cohen, D. C., Stockdale, C. R. & Doyle, P. T. 2006. Feeding an energy supplement with white clover silage improves rumen fermentation, metabolizable protein utilisation, and milk production in dairy cows. *Australian Journal of Agricultural Research* 57: 367-375.
- Colenbrander, V. F., Hill, D. L., Eastridge, M. L. & Mertens D. R. 1986. Formulating dairy rations with neutral detergent fiber. I. Effect of silage source. *Journal of Dairy Science* 69: 2718-2722.
- Dewhurst, R. J. 2013. Milk production from silage: comparison of grass, legume and maize silages and their mixtures. *Agricultural and Food Science* 22: 57-69.
- Dewhurst, R. J., Davies, L. J. & Kim, E. J. 2010. Effects of mixtures of red clover and maize silages on the partitioning of dietary nitrogen between milk and urine by dairy cows. *Animal* 4-5: 732-738.
- Dewhurst, R. J., Fisher, W. J., Tweed, J. K. S. & Wilkins, R. J. 2003. Comparison of grass and legume silages for milk production. 1. Production responses with different levels of concentrate. *Journal of Dairy Science* 86: 2598-2611.
- Dhiman, T. R. & Satter, L. D. 1993. Protein as the first-limiting nutrient for lactating dairy cows fed high proportions of good quality alfalfa silage. *Journal of Dairy Science* 76: 1960-1971.
- Dhiman T. R. & Satter, L. D. 1997. Yield response of dairy cows fed different proportions of alfalfa silage and corn silage. *Journal of Dairy Science* 80: 2069-2082.
- Dijkstra, J., Oenema, O., van Groenigen, J. W., Spek, J. W., van Vuuren, A. M. & Bannink, A. 2013. Diet effects on urine composition of cattle and N₂O emissions. *Animal* 7: 292-302.
- Euroopan parlamentti ja neuvosto 2016. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi tiettyjen ilman epäpuhtauksien kansallisten päästöjen vähentämisestä, direktiivin 2003/35/EY muuttamisesta sekä direktiivin 2001/81/EY kumoamisesta. Asetus 2284/2016. Annettu 17.12.2016. EUR-lex säädöstietopankki: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L2284&from=FI>.
- European Environment Agency 2019. Air pollutant emissions data viewer (Gothenburg Protocol, LRTAP Convention) 1990-2017. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/air-pollutant-emissions-data-viewer-2>. Julkaistu 22.3.2019, viitattu 23.10.2019.

- FAOSTAT 2014. Greenhouse gas emissions from agriculture, forestry and other land use. <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/218650/>. Vienna, Austria: Database of Food and Agriculture, Organization of the United Nations. Julkaistu 10.4.2014, viitattu 27.7.2018.
- FAOSTAT 2018. Agriculture total. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/GT/visualize>. Vienna, Austria: Database of Food and Agriculture, Organization of the United Nations. Julkaistu 12.1.2018, viitattu 23.7.2018.
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D. W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D. C., Myhre, D., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M. & Van Dorland, R. 2007. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 131-234 s.
- Fred, E. B., Baldwin, L. L. & McCoy, E. 2002. Root nodule bacteria and leguminous plants. Uusintapainos. Madison, United States of America: Parallel Press. 256 s.
- Gehman, A. M. & Kononoff, P. J. 2010. Utilization of nitrogen in cows consuming wet distillers grains with solubles in alfalfa and corn silage- based dairy rations. *Journal of Dairy Science* 93: 3166-3175.
- Gustafsson, A. H. & Palmquist, D. L. 1993. Diurnal variation of rumen ammonia, serum urea, and milk urea. *Journal of Dairy Science* 76: 475-484.
- 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.
- Hassanat, F., Gervais, R., Julien, C., Massé, D. I., Lettat, A., Chouinard, P. Y., Petit, H. V. & Benchaar, C. 2013. Replacing alfalfa silage with corn silage in dairy cow diets: effects on enteric methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *Journal of Dairy Science* 96: 4553-4567.
- Hassanat, F., Gervais, R., Massé, D. I., Petit, H. V. & Benchaar, C. 2014. Methane production, nutrient digestion, ruminal fermentation, N balance, and milk production of cows fed timothy silage- or alfalfa silage- based diets. *Journal of Dairy Science* 97: 6463-6474.
- HELCOM 2018. State of the Baltic Sea – Second HELCOM holistic assessment 2011-2016. Baltic Sea Environment Proceedings. 155 s.

- Hellstedt, M., Luostarinen, S., Regina, K., Särkijärvi, S., Grönroos, J. & Haapala, J. 2017. Lypsykarjanavetoiden ammoniakkipäästöjen nykytaso ja vähentämismenetelmät. Luonnonvara ja biotalouden tutkimus 53/2017. Helsinki: Suomi. 64 s.
- Hof, G., Vervoorn, M. D., Lenaers, P. J. & Tamminga, S. 1997. Milk urea nitrogen as a tool to monitor the protein nutrition of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 80: 3333-3340.
- Hoffman, P. C., Combs, D. K., Brehm, N. M. & Welch, D. A. 1997. Performance of lactating dairy cows fed red clover or alfalfa silage. *Journal of Dairy Science* 80: 3308-3315.
- Hoffman, P. C., Combs, D. K. & Casler, M. D. 1998. Performance of lactating dairy cows fed alfalfa silage or perennial ryegrass silage. *Journal of Dairy Science* 81: 162-168.
- Hou, Y., Velrhof, G. L. & Oenema, O. 2014. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from manure management chains: a meta-analysis and integrated assessment. *Global Change Biology* 21: 1293-1312.
- Huhtanen, P., Rinne, M. & Nousiainen, J. 2007. Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: a revision of the relative silage dry-matter intake index. *Animal* 1: 758-770.
- Hymes-Fecht, U. C., Broderick, G. A., Muck, R. E. & Grabber, J. H. 2013. Replacing alfalfa or red clover silage with birdsfoot trefoil silage in total mixed rations increases production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 96: 460-469.
- Ineichen, S., Marquardt, S., Wettstein, H.-R., Kreuzer, M. & Reidy, B. 2019. Milk fatty acid profile and nitrogen utilization of dairy cows fed ryegrass-red clover silage containing plantain (*Plantago lanceolata* L.). *Livestock Science* 221: 123-132.
- Johansen, M., Søgaard, K., Lund, P. & Weisbjerg, M. R. 2017. Digestibility and clover proportion determine milk production when silages of different grass and clover species are fed to dairy cows. *Journal of Dairy Science* 11: 8861-8880.
- Johnson, A. C. B., Reed, K. F. & Kebreab, E. 2016. Short communication: Evaluation of nitrogen excretion equations from cattle. *Journal of Dairy Science* 99: 7669-7678.
- Jonker, J. S., Kohn, R. A. & Erdman, R. A. 1998. Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81:2681-2692.
- Jonker, J. S., Kohn, R. A. & High, J. 2002. Dairy herd management practices that impact nitrogen utilization efficiency. *Journal of Dairy Science* 85: 1218-1226.
- Kauffman A. J. & St-Pierre N. R. 2001. The relationship of milk urea nitrogen to urine nitrogen excretion in holstein and jersey cows. *Journal of Dairy Science* 84: 2284-2294.

- Kuoppala, K. 2010. Influence of harvesting strategy on nutrient supply and production of dairy cows consuming diets based on grass and red clover silage. *MTT Science* 11. Väitöskirja. Jokioinen: MTT.
- 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.
- Kroeze, C. & Bowman, L. 2011. A role of nitrogen in climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 3: 279-280.
- Leduc, M., Gervais, R., Tremblay, G., F. Chiquette, J. & Chouinard, P.Y. 2017. Milk fatty acid profile in cows fed red clover- or alfalfa-silage based diets differing in rumen-degradable protein supply. *Animal Feed Science and Technology* 223: 59-72.
- Lee, M. R. F. 2014. Forage polyphenol oxidase and ruminant livestock nutrition. *Frontiers in Plant Science* 5: 694.
- Lee, M. R. F., Theobald, V. J., Tweed, J. K. S., Winters, A.L. & Scollan, N. D. 2009a. Effect of feeding fresh or conditioned red clover on milk fatty acids and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92: 1136-1147.
- Luonnonvarakeskus 2018a. Käytössä oleva maatalousmaa ELY-keskuksittain.
http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__02%20Maatalous__04%20Tuotanto__22%20Kaytossa%20oleva%20maatalousmaa/01_Kaytossa_oleva_maatalousmaa_ELY.px/?rxid=675ee983-5c97-4dbe-bc1f-7b06d08731e8. Helsinki:
 Luonnonvarakeskus. Julkaistu 2018, viitattu 16.1.2020.
- Luonnonvarakeskus 2018b. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset.
<http://www.luke.fi/rehutaulukot>. Helsinki: Luonnonvarakeskus, tilastopalvelut. Julkaistu 2018, viitattu 04.10.2018.
- Luonnonvarakeskus 2019. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt.
<http://stat.luke.fi/indikaattori/maatalouden-kasvihuonekaasup%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6t>. Helsinki: Luonnonvarakeskus, tilastopalvelut. Julkaistu 29.3.2019, viitattu 23.10.2019.
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J. & Munther, J. 2017. Suomen normilanta – laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47. Helsinki: Luonnonvarakeskus. 54 s.
- MAFF 1975. Energy allowances and feeding systems for ruminants. Technical Bullentin 33. Her Majesty's Stationery Office, London. 79 s.

- Mattila, P. K. & Joki-Tokola, E. 2003. Effect of treatment and application technique of cattle slurry on its utilization by ley: I. Slurry properties and ammonia volatilization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65: 221-230.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A. & Wilkinson, R. G. 2011. *Animal Nutrition*. 7. painos. UK: Pearson Education Limited. 692 s.
- Merry, R. J., Lee, M. R. F., Davies, D. R., Dewhurst, R. J., Moorby, J. M., Scollan, N. D. & Theodorou, M. K. 2006. Effects of high-sugar ryegrass silage and mixtures with red clover silage on ruminant digestion. 1. In vitro and in vivo studies of nitrogen utilization. *Journal of Dairy Science* 84: 3049-3060.
- Minet, E. P., Ledgard, S. F., Grant, J., Murphy, J. B., Krol, D. J., Lanigan, G. J., Luo, J. & Richards, K. G. 2018. Feeding diacyanamide (DCD) to cattle: An effective method to reduce N₂O emissions from urine patches in a heavy- textured soil under temperate climatic conditions. *Science of the Total Environment* 615: 1319-1331.
- Moorby, J. M., Ellis, N. M., Fisher, W. J., Davies, D. W. R & Davies, D. R. 2008. Effects of mixing red clover and maize silages on milk production and whole-body N partitioning in dairy cows. *Proceedings of the Second Scientific conference of the International Society of Organic Agriculture Research* 16: 16-20.
- Moorby, J. M., Ellis, N. M. & Davies, D. R. 2016. Assessment of dietary ratios of red clover and corn silages on milk production and milk quality in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 99: 7982-7992.
- Moorby, J. M., Lee, M. R. F., Davies, D. R., Kim, E. J., Nute, G. R., Ellis, M. N. & Scollan, N. D. 2009. Assessment of dietary ratios of red clover and grass silages on milk production and milk quality in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92: 1148-1160.
- Nocek, J. E., & Grant, A. L. 1987. Characterization of in situ nitrogen and fiber digestion and bacterial nitrogen contamination of hay crop forages preserved at different dry matter percentages. *Journal of Dairy Science* 64: 552-564.
- 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.
- Onetti, S. G., Shaver, R. D., McGuire, M. A., Palmquist, D. L. & Grummer, R. R. 2002. Effect of supplemental tallow on performance of dairy cows fed diets with different corn silage: alfalfa silage ratios. *Journal of Dairy Science* 85: 632-641.
- Patton, R. A., Hristov, A. N. & Lapierre, H. 2014. Protein feeding and balancing for amino acids in lactating dairy cattle. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 30: 599-621.
- Pitt, R. E. 1990. Silage and hay preservation. <https://ecommons.cornell.edu/>

- bitstream/handle/1813/69422/NRAES-005.pdf?sequence=1. Ithaca, New York: Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES). Julkaistu 1990, viitattu: 15.1.2020.
- Powell, M., Gourley, C. J. P., Rotz, C. A. & Weaver, D.M. 2010. Nitrogen use efficiency: A potential performance indicator and policy tool for dairy farms. *Environmental Science & Policy* 13: 217-228.
- Robichaud, V. M., de Passillé, A. M., Pellerin, D. & Rushen, J. 2011. When and where do dairy cows defecate and urinate? *Journal of Dairy Science* 94: 4889-4896.
- Ruokavirasto 2019. Vuoden 2019 kasvilajit lajikkeittain ja viljelypinta-aloittain. <https://docplayer.fi/149447418-Ruokavirasto-maaseutuelinkeinohallinnon-tietojarjestelma.html>. Helsinki, Suomi: Maaseutuelinkeinohallinnon tietojärjestelmä. Julkaistu 18.7.2019, viitattu 3.3.2020.
- Ruppert, L. D., Drackley, J. K., Bremmer, D. R. & Clark, J. H. 2003. Effects of tallow in diets based on corn silage or alfalfa silage on digestion and nutrient use by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86: 593-609.
- Schulz, F., Westreicher-Kirsten, E., Knappstein, K., Molkentin, J. & Andreas, S. 2018. Replacing maize silage plus soybean meal with red clover silage plus wheat in diets for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 101: 1216-1226.
- Shaver, R. D., Satter, L. D. & Jorgensen N. A. 1988. Impact of forage fiber content on digestion and digesta passage in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 71: 1556-1565.
- Sjaunja, L. O., Baevre, L., Junkkarinen, L., Pedersen, J. & Setälä, J. 1991. A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula. Teoksessa: Gaillon, P. & Chabert, Y. (toim.). *Performance recording of animals: State of the art*. EAAP Publication 50. Wageningen, Netherlands: PUDOC. s. 156-157.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. & Miller, H. L. 2007. 2.3.3 Other Kyoto protocol gases. Teoksessa: *Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. s. 143.
- Spek, J. W., Bannik, A., Gort, G., Hendriks, W. H. & Dijkstra, J. 2012a. Effect of sodium chloride intake on urine volume, urinary urea excretion, and milk urea concentration in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 95: 7288-7298.

- Spek, J. W., Dijkstra, J., van Duinkerken, G. & Bannik, A. 2012b. A review of factors influencing milk urea concentration and its relationship with urinary urea excretion in lactating dairy cattle. *Journal of Agricultural Science* 151: 407-423.
- Stallcup, O. T., Davis, G. V. & Shields, L. 1974. Influence of dry matter and nitrogen intakes on fecal nitrogen losses in cattle. *Journal of Dairy Science* 58: 1301-1307.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. & de Haan, C. 2006. *Livestock's long shadow. Environmental issues and options.* Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 390 s.
- Steinshamn, S. 2010. Effect of forage legumes on feed intake, milk production and milk quality - a review. *Animal science papers and reports* 28: 195-206.
- St-Pierre, N. R. 2001. Invited review: Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *Journal of Dairy Science* 84: 741-755.
- Suomen ympäristökeskus 2017. Rehevöityminen. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika_onItameren_tila/Rehevoityminen. Julkaistu 14.12.2017, viitattu 24.7.2018.
- Suomen ympäristökeskus 2019a. Vesistöjen kuormitus ja luonnon huuhtouma. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesistojen_kuormitus_ja_luonnon_huuhtouma. Julkaistu 30.8.2013, päivitetty 10.9.2019, viitattu 24.7.2018.
- Suomen ympäristökeskus 2019b. Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhtauksien_paastot#P%C3%A4%C3%A4st%C3%B6l%C3%A4hteet. Julkaistu 8.12.2015, päivitetty 12.6.2019, viitattu 15.1.2020.
- Tamminga, S. 1992. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal of Dairy Science* 75: 345-357.
- Thomas, C., Aston, K. & Daley, R. S. 1985. Milk production from silage 3. A comparison of red clover with grass silage. *Animal Science* 41: 23-31.
- Tuori, M., Syrjälä-Qvist L. & Jansson, S. 2002. Red clover and meadow fescue silages fed in different proportions in milk production. Teoksessa: L. Gechie, and C. Thomas (toim.) *Proceedings of XIIIth International Silage Conference (Auchincruive, Scotland. Scottish Agricultural College, Auchincruive, Scotland).* s.130-131.
- Uusitalo, R., Ekholm, P., Turtola, E., Pitkänen, H., Lehtonen, H., Granlund, K., Bäck, S., Puustinen, M., Räike, A., Lehtoranta, J., Rekolainen, S., Walls, M. & Kauppila, P. 2007. *Maatalous Itämeren rehevöittäjänä. Maa- ja elintarviketalous* 96. Jokioinen: MTT. 7 s.

- Van Dorland, H. A., Wettstein, H.-R., Leuenberger, H. & Kreuzer, M. 2007. Effect of supplementation of fresh and ensiled clovers to ryegrass on nitrogen loss and methane emission of dairy cows. *Livestock Science* 111: 57-69.
- Vanhatalo, A., Gäddnäs, T. & Heikkilä, T. 2006. Microbial protein synthesis, digestion and lactation responses of cows to grass or grass-red clover silage diet supplemented with barley or oats. *Agricultural and Food Science* 15: 252-267.
- Vanhatalo, A., Kuoppala, K., Toivonen, V. & Shingfield, K. J. 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: 5620-563.
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. painos. Ithaca: Cornell University Press. 476 s.
- Velthof, G. L., Houb, Y. & Oenema, O. 2015. Nitrogen excretion factors of livestock in the European Union: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95: 3004-3014.
- Verhulst, N., François, I., Grahmann, K., Cox, R. & Govaerts, B. 2014. Nitrogen use efficiency and optimization of nitrogen fertilization in conservation agriculture. *International Maize and Wheat Improvement Center*. 150 s.
- VN 2014. Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta. Asetus 1250/2014. Annettu 18.12.2014. Finlex® sähköinen säädöstietopankki: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20141250>. Julkaistu 20.12.2014, viitattu 17.5.2018.
- Wattiaux, M. A. & Karg, K. L. 2004. Protein level for alfalfa and corn silage based diets: II. Nitrogen balance and manure characteristics. *Journal of Dairy Science* 87: 3492-3502.
- Wilman, D. & Williams, S. P. 1993. A comparison of grass/white clover and grass silages offered to dairy cows as the sole feed. *Grass and Forage Science* 48: 231-237.
- Zaman, M. & Blennerhasset, J. D. 2010. Effects of the different rates of urease and nitrification inhibitors on gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, nitrate leaching and pasture production from urine patches in an intensive grazed pasture system. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 136: 236-246.