

**TUNNUTUSRUOKINNAN VAIKUTUS LYPSYLEHMÄN VERKKO-
MAHAN HAPPAMUUTEEN JA SYÖNTIKÄYTTÄYTYMISEEN**

Emmi-Leena Viitanen
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden osasto
Kotieläintiede
Tammikuu 2020

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden osasto	
Tekijä — Författare — Author Emmi-Leena Viitanen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Tunnustusruokinnan vaikutus lypsylehmän verkkomahan happamuuteen ja syöntikäyttäytymiseen.			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kotieläinten ravitsemustiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma		Aika — Datum — Month and year Tammikuu 2020	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 56 s.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Poikimisen jälkeen lehmän syönti lisääntyy nopeasti ja samalla ruokinta muuttuu ummessaoloajan ruokintaa väkirehuvaltaisemmaksi, mikä voi altistaa pötsiongelmiin syntyemiselle ja happamoittaa pötsiä. Pitkäaikaiset alhaisen pH:n jaksot voivat johtaa subakuuttiin pötsiasidoosiin (SARA). Tunnustusruokinnalla eli väkirehun lisäämisellä ruokintaan ennen poikimista on pyritty välttämään ongelmia poikimisen yhteydessä. Osa viimeaikaisista tutkimuksista kyseenalaistaa tunnituksen hyödyt ja suomalaisillakin lypsykarjatiljoilla on voitu luopua tunnuksesta sen aiheuttaman lisätyön ja -kustannuksen vuoksi.</p> <p>Koe oli täydellisesti satunnaistettu lohkokoe, jossa 16 ayrshire-lehmää jaettiin pareihin poikimakerran, edellisen kauden maitotuotoksen, painon ja odotetun poikimapäivän perusteella. Toinen parin lehmistä arvottiin tunnutettavien ryhmään ja toinen tunnuttamattomien ryhmään. Tunnutettavat saivat nurmisäilörehun lisäksi tunnustusväkirehua, jonka määrä nostettiin 1 kg:sta 4 kg:aan 3 viikon aikana ennen poikimista. Tunnuttamattomat saivat vain säilörehua. Säilörehua (D-arvo 715 g/kg ka) annettiin vapaasti. Verkkomahan pH-arvoa, märehtimisaikaa sekä syöntikäyttäytymistä mitattiin 3 viikkoa ennen poikimista ja 8 viikkoa poikimisen jälkeen.</p> <p>Ruokinta ei vaikuttanut verkkomahan pH-arvoon ($p > 0,10$), eikä yhdenkään lehmän verkkomahan pH ollut SARA-riskirajan alapuolella (yli 5,24 h/vrk alle 5,8 ja vrk:n ka alle 6,16). Verkkomahan keskimääräinen pH oli ennen poikimista 6,6 ja päivinä 1-10 poikimisen jälkeen 6,5. Tunnutettavat käyttivät vähemmän aikaa syömiseen (180 vs. 230 min/pv, $p < 0,001$) ja söivät nopeammin kuin tunnuttamattomat ennen poikimista ($p < 0,01$). Erot syöntiajassa ja -nopeudessa säilyivät poikimisen jälkeen. 1-10 pv poikimisen jälkeen tunnutetut söivät vähemmän kuin tunnuttamattomat (15,0 vs. 16,3 kg ka/pv, $p = 0,02$). Ennen poikimista tunnutettavat märehtivät vähemmän aikaa kuin tunnuttamattomat (395 vs. 465 min/pv, $p = 0,01$). Poikimisen jälkeen ero märehtimisajassa säilyi lähes saman suuruisena, joskin ero oli tilastollisesti vain lähellä suuntaa-antavaa ($p = 0,13$). Tunnustusruokinta lyhensi syönti- ja märehtimisaikaa ennen poikimista ja vaikutus ilmeni vielä poikimisen jälkeen. Tulosten perusteella ruokinnalla ei havaittu olevan suoria vaikutuksia verkkomahan pH-arvoon, mutta tunnutettujen lehmien kohonnut verkkomahan lämpötila, alhaisempi märehtiminen ja syönnin hitaampi kasvu poikimisen jälkeen voivat olla epäsuoria viitteitä ongelmista verkkomahan pH-tasapainossa.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords lypsylehmä, syöntikäyttäytyminen, tunnustusruokinta, verkkomahan pH			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden osasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Työn ohjasi yliopistonlehtori Tuomo Kokkonen			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Emmi-Leena Viitanen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title The effect of lead feeding to the reticular pH and eating behaviour in dairy cows.			
Oppiaine — Läroämne — Subject Animal Nutrition			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year January 2020	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 56 p.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>After calving dairy cows increase their dry matter intake rapidly and at the same time the diet changes from dry period diet to a diet containing more concentrates. These changes can increase the risks of health problems in rumen and decrease the rumen pH. Long and repeated periods of low rumen pH can lead to subacute rumen acidosis (SARA). Adding small amounts of concentrates to the diet before calving is a traditional method to alleviate problems around calving. Lately some researchers have questioned the benefits of lead feeding. Some Finnish farms don't give lead feeding anymore because it increases the labor work and costs.</p> <p>The experiment was a randomized complete block design, where 16 ayrshire cows were divided into pairs according to their previous milk yield, body weight and estimated calving day. One cow in each pair was fed cereal concentrate 3 weeks before calving in addition to grass silage while the other cow was fed only grass silage. The silage (D-value 715 kg/kg DM) was fed ad libitum. Reticular pH and temperature, ruminating time and eating behaviour was measured 3 weeks before calving and 8 weeks after calving.</p> <p>Treatments did not affect the reticular pH ($p > 0.10$). None of the cows had a reticular pH under the SARA-treshold (over 5.24 h/d under 5.8 and mean $\text{pH} < 6.16$). The mean reticular pH was 6.6 before calving and 6.5 on days 1-10 after calving. The lead feeding group spent less time eating in a day (180 vs. 230 min/d, $p < 0.001$) and had higher eating rate (kg DM/min) than the non-lead fed group ($p < 0.01$). The effect remained after calving. During days 1 to 10 d after calving lead feeding group ate less than non-lead fed group (15.0 vs. 16.3 kg DM/d, $p = 0.02$). Before calving the non-lead fed group had longer rumination time than the lead-feeding group (465 vs. 395 min/d, $p = 0.01$). After calving the difference in the ruminating time tended to sustain ($p = 0.13$). The lead feeding shortened the daily eating and ruminating times pre- and postpartum. Reticular pH did not differ between treatments but lead feeding group had higher reticular temperature, lower rumination time and decreased feed intake during very early lactation which may indicate problems in pH-balance.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Dairy cow, eating behaviour, lead feeding, reticular pH			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisor university lecturer Tuomo Kokkonen			

Sisällys

1 JOHDANTO	5
2 SIIRTYMÄKAUDEN RUOKINTA JA TUNNUTUS	5
3 PÖTSIN HAPPAMUUS JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	8
3.1 Hiilihydraattien sulatus pötsissä.....	8
3.2 Pötsin pH:ta ylläpitävät tekijät	9
3.4 Pötsin happamoitumisen seuraukset	10
3.5 Subakuutti pötsiasidoosi.....	11
4 SYÖNTIKÄYTTÄYTYMINEN	12
4.1 Syönnin säätely	12
4.2 Syöntikäyttäytymisen merkitys lehmän hyvinvoinnille.....	14
5 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	15
6 AINEISTO JA MENETELMÄT	16
6.1 Koejärjestelyt.....	16
6.2 Rehut ja ruokinta	17
6.3 Mittaukset.....	18
6.3.1 Verkkomahan pH ja lämpötila	18
6.3.2 Syöntikäyttäytyminen	19
6.3.3 Märehtiminen	20
6.4 Näytteiden analysointi	20
6.5 Tilastollinen analyysi	22
7 TULOKSET	22
7.1 Rehujen kemiallinen koostumus.....	22
7.2 Ennen poikimista.....	24
7.3 Poikimisen jälkeen	28
8 TULOSTEN TARKASTELU	33
8.1 Verkkomahan pH	33
8.2 Verkkomahan lämpötila	36
8.3 Syöntikäyttäytyminen	38
8.3.1 Ennen poikimista.....	38
8.3.2 Poikimisen jälkeen	40
8.4 Märehtiminen	42
9 JOHTOPÄÄTÖKSET	44
LÄHTEET	45

1 JOHDANTO

Lypsylehmän korkean tuotoksen ja hyvän terveyden kannalta tärkeää on terve ja toimiva pötsi. Korkeaa maitotuotosta saatetaan tavoitella hyvin väkirehupitoisella dieetillä, mikä voi olla haitallista pötsin toiminnan kannalta. Ruokinnan suuri tärkkelyspitoisuus ja vähäinen kuidun (NDF) määrä alentavat pötsin pH:ta ja voivat heikentää pötsin toimintaa. Pitkäkestoiset matalan pH:n jaksot pötsissä voivat aiheuttaa lehmälle subakuutin pötsiasidoosin (SARA). Se voi aiheuttaa lehmälle muita metabolisia sairauksia, kuten juokutusmahan siirtymän, rasvamaksan ja ontumista (Humer ym. 2018). SARA:n aiheuttamat taloudelliset tappiot voivat olla merkittäviä, sillä sitä uskotaan esiintyvän arviolta 10–40 %:lla lypsylehmistä (Dijkstra ym. 2012).

Grummer (1995) määritteli siirtymäkauden (transitiokausi) pituudeksi kolme viikkoa ennen poikimista ja kolme viikkoa poikimisen jälkeen. Tuona aikana lehmä kokee lyhyessä ajassa suuria metabolisia muutoksia ummessaoloajan päättyessä ja maidontuotannon alkaessa ja on altteimmillaan erilaisille infektioille tai metabolisille sairauksille. Ummessaoloajan alussa lehmän dieetissä ei pienen energiantarpeen vuoksi ole ollenkaan tai hyvin vähän väkirehua. Poikimista edeltävien viimeisten viikkojen aikana ruokintaan voidaan alkaa lisätä väkirehua. Tunnutusruokinnalla ennen poikimista pyritään välttämään ongelmia poikimisen yhteydessä ja totuttamaan pötsimikrobistoa tulevaan muutokseen dieetissä. Nopeasti tapahtuva muutos runsaasti väkirehua sisältävään ruokintaan sekä kasvava kuiva-aineen syönti altistavat esimerkiksi SARA:n kehittymiselle (Humer ym. 2018).

Tunnutusruokinnan käytännön järjestäminen suomalaisilla lypsykarjatililla aiheuttaa lisätyötä ja -kustannuksia. Tämän vuoksi monilla tiloilla on päädytty luopumaan siitä kokonaan, koska sen hyödyt eivät ole tulleet riittävän hyvin esiin verrattuna sen kustannuksiin. Myös jotkin viimeaikaiset tutkimukset kyseenalaistavat tunnutuksen hyödyt (Mann ym. 2015, Dieho ym. 2017).

2 SIIRTYMÄKAUDEN RUOKINTA JA TUNNUTUS

Siirtymäkauden aikana lypsylehmässä tapahtuu lyhyessä ajassa monia merkittäviä metabolisia muutoksia, jotka johtuvat vasikan syntymästä ja maidontuotannon alkamisesta (Grummer 1995). Ummessaoloaikana lehmän ruokinta on alhaisemman energiantarpeen

vuoksi huomattavasti karkearehuvaltaisempaa kuin tuotoskaudella (Humer ym. 2018). Tällä pyritään välttämään lehmän lihomisen aiheuttamia metabolisia ongelmia poikimisen jälkeen (Dann ym. 2006), sillä energiarikas dieetti ennen poikimista aiheuttaa suuremman pudotuksen syönnissä poikimisen aikaan (Hayirli ym. 2003) ja johtaa suurempaan negatiiviseen energiataseeseen ensimmäisten kymmenen päivän aikana poikimisen jälkeen (Dann ym. 2006). Kaikissa tutkimuksissa näin ei ole kuitenkaan havaittu (Rabelo ym. 2003). Poikimista edeltävien viimeisten viikkojen aikana aloitetaan usein tunnusruokinta eli dieettiin aletaan lisätä väkirehua. Friggensin ym. (2004) mukaan tunnusruokinnalla pyritään totuttamaan pötsimikrobeja ja pötsipapilleja tuotoskauden ruokintaan, jossa on enemmän viljaa ja nopeasti fermentoituvia hiilihydraatteja kuin ummessa-olevien lehmien ruokinnassa. Pötsin väkirehuun totuttamisen lisäksi tunnusruokintaa on perusteltu paremmalla energiataseella poikimisen jälkeen (Friggens ym. 2004). Tunnetus tuo mahdollisesti enemmän glukogeenisiä lähtöaineita maksaan (Grummer 1995) ja nostaa veren insuliinipitoisuutta (Kokkonen ym. 2004), mikä vähentää lipolyysiä ja siten parantaa eläimen energiatasetta poikimisen jälkeen (Grummer 1995).

Lehmän kuiva-aineen syönti voi vähentyä viimeisen viikon aikana ennen poikimista jopa 30 % (Grant ja Albright 1995). Myös märehitimiseen käytetty aika voi vähentyä poikimista edeltävinä päivinä (Schmitz ym. 2018). Maitotuotoksen nopean kasvun ja riittämättömän rehun syönnin vuoksi lehmä on, poikimista edeltävästä ja poikimisen jälkeisestä ruokinnasta riippuen, poikimisen jälkeen noin kaksi kuukautta negatiivisessa energiataseessa (Dann ym. 2006, van Knegsel ym. 2007). Syönnin maksimoinnilla pyritään välttämään energiavajeen aiheuttamia terveysongelmia. Tämän vuoksi väkirehun osuutta ruokinnassa lisätään reippaasti lyhyessä ajassa (Steele ym. 2015). Nopea syönnin lisääntyminen yhdistettynä ruokinnan muutokseen voi kuitenkin olla riski SARA:n syntymiselle (Humer ym. 2018).

Mikrobifermentaatioissa syntyvät ja pötsin seinämän läpi verenkiertoon imeytyvät haihtuvat rasvahapot (VFA) ovat märehittäjän tärkein energianlähde (Rémond ym. 1995). Heidän mukaansa ruokinnan sekä syönnin muutokset vaikuttavat pötsin papillien kokoon ja siten VFA:n imeytymiseen pötsistä. Dirksenin ym. (1985) mukaan väkirehun lisääntymisestä johtuva propioni- ja voihappopitoisuuden nousu pötsissä edistää pötsin papillien kasvua. Pötsin seinämän sopeutuminen johtuu pyrkimyksestä vakauttaa pötsin pH:ta ja energiametabolialla, mikä on tärkeää eläimen terveyden kannalta heti poikimisen jälkeen.

Ummessaolokauden energiaköyhällä dieetillä pötsipapillit ovat lyhyempiä ja pötsimikrobisto koostuu suurelta osin sellulolyttisistä bakteereista (McCann ym. 2014, Steele ym. 2015, Dieho ym. 2017). Dirksenin ym. (1985) mukaan pötsin papillien poikkipinta-ala pienenee ummessaolokauden dieetillä jopa puoleen verrattuna poikkipinta-alaan tuotoskaudella ja suurempi papillien poikkipinta-ala tehostaa VFA:n imeytymistä pötsistä. Pötsin epiteelillä kestää 4-6 viikkoa sopeutua väkirehun määrän kasvuun ja VFA:n lisääntyneeseen määrään pötsissä (Dirksen ym. 1985), mutta papillien pienentyminen tapahtuu nopeammin (Dirksen ym. 1997). Pötsimikrobisto sopeutuu ruokinnan muutokseen noin kymmenessä päivässä (Dirksen ym. 1997).

Andersenin ym. (1999) tutkimuksessa ummessaolokauden väkirehuruokinnan tason ei havaittu aiheuttavan muutoksia pötsin epiteelissä, mutta enemmän väkirehua ennen poikimista saaneet lehmät söivät vähemmän poikimisen jälkeisinä päivinä kuin vertailuryhmä. Ingvarlsen ym. (2001) eivät havainneet eroa poikimisen jälkeisessä syönnissä, vaikka väkirehun ruokinnan ajankohdalla pyrittiin luomaan hetkellisiä suuria VFA-pitoisuuksia ja alhaisia pH-arvoja pötsissä ja siten stimuloimaan papillien kasvua. Diehon ym. (2016a) nopeampi väkirehutason nosto poikimisen jälkeen nopeutti papillien kasvua, mutta heidän tulostensa perusteella kasvu ei kuitenkaan vaikuttanut VFA:n imeytymisnopeuteen (Dieho ym. 2016b). Bannink ym. (2012) havaitsivat, että nopeampi väkirehutason nosto nopeuttaa papillien imeytymispinta-alan kasvua ja nopeuttaa VFA:n imeytymisnopeutta. Diehon ym. (2017) tutkimuksessa havaittiin pötsin papillien ja imeytymispinta-alan kasvavan tunnutuksen ansiosta ennen poikimista. Ero tunnutettujen ja tunnuttamattomien lehmien VFA:n imeytymispinta-alassa ei kuitenkaan säilynyt poikimisen jälkeiseen aikaan, eikä lisännyt VFA:n imeytymistä ummessaoloaikana tai tuotoskauden alussa.

Tunnetusruokinnan tarpeellisuutta on joissakin tutkimuksissa kyseenalaistettu. Friggens ym. (2004) käsitelivät kirjallisuuskatsauksessaan useita eri ummessaoloajan ruokintastrategioita, ja päätyivät pitämään parhaimpana strategiaa, jossa eläintä valmistellaan kudosten mobilisaation rajoittamalla energiansaantia hiukan alle energian tarpeen ummessaolokauden lopulla. Pötsin ja pötsimikrobiston valmistelemista lisääntyvään syöntiin Friggens ym. (2004) eivät pitäneet erityisen hyödyllisenä poikimisen jälkeisen syönnin stimuloinnin kannalta, vaan tulkitsivat tunnutuksen olevan hyödyllistä eläimelle lähinnä poikimisen ajan stressiä lievittävänä tekijänä, kun ruokinta muuttuu vähitellen. Mann ym.

(2015) päätyivät tutkimustulostensa perusteella myös suosittelemaan vain yhtä ummessaoloajan dieettiä. Tunnustusruokintaan verrattuna koko ummessaolokauden energiaköyhä ruokinta lievensi negatiivista energiatasetta ja vähensi ketoosin esiintymistä ja sen voimakkuutta lehmillä poikimisen jälkeen. Huang ym. (2017) havaitsivat, että vähemmän energiaa sisältävä dieetti kolmen viikon ajan ennen poikimista johti suurempaan kuiva-aineen syöntiin ja parempaan energiataseeseen poikimisen jälkeen kuin energiarikkaampi dieetti. Samalla kuitenkin pötsin pH oli alhaisempi ja VFA-pitoisuus suurempi, minkä vuoksi lehmät olivat alttiimpia SARA:lle. Penner ym. (2007) sen sijaan havaitsivat korkeamman väkirehutasoon ennen poikimista aiheuttavan matalamman pH:n jaksoja poikimisen jälkeen verrattuna matalampaan väkirehutasoon ennen poikimista. Toisaalta Mohammed ym. (2012) havaitsivat, että syöntimäärällä tai pötsin VFA-pitoisuudella ei ollut vaikutusta ensikoiden alttiuteen pötsin happamoitumiselle 8 viikkoa poikimisen jälkeen. Pötsin seinämässä ja papillien koossa on Banninkin ym. (2012) mukaan yksilöllisiä eroja lehmien välillä ja ehkä tämän vuoksi tutkimustuloksissa on niin paljon vaihtelua.

3 PÖTSIN HAPPAMUUS JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

3.1 Hiilihydraattien sulatus pötsissä

Lypsylehmän rehu koostuu suurelta osin hiilihydraateista eli selluloosasta, hemiselluloosasta, tärkkelyksestä ja vesiliukoisista hiilihydraateista eli sokereista (Rémond ym. 1995). Useissa katsauksissa on käyty läpi hiilihydraattien hajotus pötsissä. McDonaldin ym. (2011) mukaan pötsissä elävät mikrobit ovat olennainen osa märehitjän hiilihydraattien hajotusta, sillä niiden erittämät entsyymit hajottavat monimutkaiset hiilihydraattikomponentit ensin vaiheittain yksinkertaisiksi sokereiksi. Sen jälkeen mikrobit ottavat syntyneet sokerit sisäänsä lopullista hajotusta varten. Ne hajotetaan ensin pyruvaatiksi, josta muodostuu erilaisten hajoamisreittien kautta useita eri lopputuotteita. Hiilihydraattien pötsifermentaation lopputuotteita ovat pääosin haihtuvat rasvahapot (VFA) eli etikka-, propioni- sekä voi happo, hiilidioksidi ja metaani.

Haihtuvista rasvahapoista propionihappoa voi syntyä useamman eri hajoamisreittein kautta. Karkearehuvaltaisessa dieetissä sitä syntyy sukkiniaattia muodostavan reitin kautta. Jos lehmän dieetissä on paljon nopeasti fermentoituvia hiilihydraatteja ja alhainen

kuitupitoisuus, on maitohappoa muodostava reitti dominoiva. Väkirehupitoisuuden kasvaessa tai karkearehun partikkelikoon ollessa hyvin pientä muodostuvien VFA:n keskinäiset osuudet muuttuvat siten, että etikkahappoa ja voi-happoa muodostuu vähemmän ja propionihappoa enemmän. Plaizierin ym. (2009) mukaan pötsin pH alkaa happamoitua, jos pötsin puskurointikyky ei riitä puskuroimaan syntyviä maitohappoja ja VFA:ta. Alhainen pH voi johtaa lehmälle vaaralliseen asidoosiin. Dijkstran ym. (2012) mukaan myös kuiva-aineen syönnin kasvaminen edistää propionihapon muodostumista ja fermentaation lisääntyessä laskee pH:ta. Voi-hapon muodostumiselle edulliset olosuhteet pötsissä vähentävät happamoittavaa vaikutusta muihin haihtuviin rasvahappoihin verrattuna. Etikkahapon suurempi muodostuminen verrattuna propionihappoon lisää myös maidon rasvapitoisuutta. Diehon ym. (2016b) mukaan nopea väkirehuprosentin nosto lisää VFA:n tuotantoa ja alentaa pH:ta tuotoskauden alussa.

3.2 Pötsin pH:ta ylläpitävät tekijät

Dijkstran ym. (2012) mukaan pötsin pH-arvon putoamisen välttämiseksi rehun sulatuksessa muodostuneet hapot on poistettava pötsistä tai puskuroitava. Erilaiset puskuroivat mekanismit pötsissä lieventävät VFA:n pitoisuuksien vaihtelun vaikutuksia pötsin pH-arvoon. VFA:t voivat imeytyä suoraan pötsin seinämän läpi verenkiertoon tai kulkeutua pötsinesteen mukana ohutsuoleen (Aschenbach ym. 2009). Aschenbachin ym. (2009) mukaan pötsin seinämän läpi kulkeutuminen voi tapahtua passiivisesti diffuusion kautta tai aktiivisesti joko niin, että haihtuvan rasvahapon anioni vaihtuu bikarbonaattiin tai itsestä bikarbonaatista riippumatta. Vaihdossa pötsiin vapautuva bikarbonaatti puskuroi osaltaan pötsin pH:ta. Dijkstran ym. (2012) mukaan VFA:n absorptiosta pötsiin vapautuvan bikarbonaatin määrä voi olla jopa kaksinkertainen verrattuna syljen mukana pötsiin kulkeutuvaan bikarbonaattiin. Pennerin ym. (2009) mukaan absorptio onkin tärkein pötsin pH:ta ylläpitävä mekanismi ainakin lampailla.

Märehtiminen on osa rehun sulatusta, sillä uudelleen pureskeltaessa rehun partikkelikoko pienenee ja siihen sekoittuu sylkeä (McDonald ym. 2011). Sylki sisältää pötsin pH:ta puskuroivia fosfaatteja ja bikarbonaatteja (Dijkstra ym. 2012) ja lehmä voi tuottaa sylkeä jopa 250 litraa vuorokaudessa (Cassida ja Stokes 1986, Maekawa ym. 2002, Jiang ym.

2017). Syöntijakson jälkeen lehmän pötsin haihtuvien rasvahappojen pitoisuus hetkellisesti nousee johtaen pH:n laskuun, mutta pH nousee takaisin märehtimisjakson aikana (Allen 1997, Dirksen ym. 1997).

McDonaldin ym. (2011) mukaan rehun kuitupitoisuus vaikuttaa lehmän päivittäiseen märehtimisaikaan, sillä karkearehun tuottama kosketusärsyke pötsin seinämissä on merkittävä märehtimistä stimuloiva tekijä. Karkearehun pieni partikkelikoko, sekä suuri väkirehun osuus rehussa vähentävät pureskeluun käytettyä aikaa ja sitä kautta syljeneritystä syömisen aikana (Maekawa ym. 2002). Fysikaalisesti tehokas kuitu (peNDF) ottaa huomioon myös partikkelikojakauman ja kuvaa kuidun vaikutuksia lehmän pureskeluun, pötsin pH-arvoon ja maidon rasvapitoisuuteen (Allen 1997, Mertens 1997, Yang ja Beauchemin 2007). Humerin ym. (2018) katsauksen perusteella pötsi tarvitsee toimiakseen riittävästi fysikaalisesti tehokasta kuitua rehussa, sillä kuitu stimuloi pureskelua, puskuroivan syljen tuotantoa, pötsin liikkeitä ja pötsin mikrobiekosysteemin toimintaa. Mertensin (1997) mukaan alhainen peNDF-pitoisuus vähentää pureskeluun käytettyä aikaa. Lehmän syljeneritys levossa on niukempaa kuin märehtimisen tai syömisen aikana (Cassida ja Stokes 1986, Maekawa ym. 2002). Maekawa ym. (2002) havaitsivat, että kuitupitoisuuden lisääminen dieetissä ei nosta syljen kokonaisuutista, vaan sitä erittyy enemmän syönnin ja märehtimisen aikana suhteessa syljen eritykseen levossa. Siksi pH:n vakauden kannalta on tärkeää, että lehmä käyttää riittävästi aikaa syöntiin ja märehtimiseen (Kröger ym. 2017). Yangin ja Beaucheminin (2006) mukaan peNDF kuvaa kuitenkin paremmin lehmän pureskelua kuin pötsin pH:ta. Schmitzin ym. (2018) mukaan useampi ateria ja syöntikerta päivässä tasaa pötsin pH:n vaihteluita muutamaan suureen ateriaan verrattuna.

3.4 Pötsin happamoitumisen seuraukset

Alhainen pH johtaa etenkin pitkittyessään syönnin vähenemiseen, mikrobitoiminnan heikkenemiseen ja ravintoaineiden sulatuksen heikkenemiseen (Dirksen ym. 1997, Krajcarski-Hunt ym. 2002). Toistuva altistuminen alhaiselle pH-arvolle voi heikentää pötsin seinämien absorbointikykyä (Harmon ym. 1985). McDonaldin ym. (2011) mukaan pötsifermentaation seurauksena syntyneet hapot voisivat teoreettisesti alentaa pötsinesteen pH:n jopa alle kolmeen. Normaaliolosuhteissa, homeostaattisten mekanismien säädelyssä pötsin toimintaa, pötsin pH on välillä 5,5-7 (Dirksen ym. 1997). McDonaldin ym.

(2011) mukaan pötsin sellulolyyttisille eli kuitua hajottaville organismeille optimaalinen pH on välillä 6-7. Tärkkelyksen ja sokerin nopeasta fermentaatiosta johtuva maitohapon kerääntyminen ja pH:n aleneminen ovat molemmat haitallisia sellulolyyttisille organismeille. Tämän vuoksi pötsiasidoosi johtaa sulatuksen heikkenemiseen ja syönnin vähenemiseen. Osa kuidun sulatuksen heikentymisestä johtuu myös siitä, että jotkin pötsimikrobit kykenevät fermentoimaan sekä selluloosaa että tärkkelystä. Kun tarjolla on paljon tärkkelystä, mikrobit suosivat sitä, jolloin selluloosan hajottaminen heikkenee.

Banninkin ym. (2008) mukaan pötsin pH:n ollessa alle 6 etikka- ja voihapon suhteellinen muodostus vähenee ja propionihapon lisääntyä. Counotten ja Prinsin (1979) mukaan pötsin pH:n pudotessa alle 5,7 alkaa maitohappoa kertyä pötsiin nopeammin kuin sitä poistuu. Koska maitohappo on myös vahvempi happo kuin haihtuvat rasvahapot, sen happamoittava vaikutus on suurempi ja sen kertyminen pötsiin voi johtaa akuuttiin asidoosiin (Kohn ja Dunlap 1998, Dijkstra ym. 2012).

Erdmanin (1988) ja Mouriñon ym. (2001) mukaan kuidun sulatus alkaa heikentyä jo pötsin pH-arvon ollessa 6.0-6.3. Useissa tutkimuksissa on mallinnettu pH:n vaikutusta kuidun sulatukseen, mutta tulokset vaihtelevat hyvin paljon. Pittin ym. (1996) mukaan pH:n ollessa 5,7 olisi kuidun sulatus alhaisimmillaan, ja Argylen ja Baldwinin (1988) mukaan sitä ei tapahtuisi enää ollenkaan kyseisen pH-arvon alapuolella. Dijkstran ym. (1992), Lescoatien ja Sauvantin (1995) sekä Imamidoostin ja Cantin (2005) mukaan kuidun sulatus heikkenee nopeasti edelleen myös pH-arvon laskiessa alle 5,7. Pötsin pH:n ollessa 6,7 on kuidun sulatusnopeus vähintään 90 % maksimiarvosta (Argyle ja Baldwin 1988, Dijkstra ym. 1992, Pitt ym. 1996, Imamidoost ja Cant 2005). Dijkstran ym. (2012) mukaan kuidun sulamisen heikentyessä tuotetun VFA:n määrä ja siitä saatu energiamäärä laskee. Samalla mikrobien valkuaistuotanto vähenee, jolloin myös ohutsuoletta imeytyvän valkuaisen määrä laskee.

3.5 Subakuutti pötsiasidoosi

Subakuutti pötsiasidoosi (SARA) on tila, jossa pötsin pH on pitkittyneesti ja toistuvasti alhainen (Dirksen ym. 1997, Plaizier 2009, Zebeli ym. 2012). SARA on tutkimuksissa yhdistetty muun muassa juoksutusmahan siirtymään, maidon rasvapitoisuuden pienene- miseen, rumeniittiin, ketoosiin, sorkkakuumeeseen, maksapaiseisiin, rasvamaksaan sekä

ripuliin (Stone 2004, Plaizier ym. 2009, Oetzel 2017, Coon ym. 2019). SARA:n diagnoosi ilman pH-mittauksia on hankalaa, koska sen oireet ovat monipuoliset, eikä sillä ole tiettyjä taudille tyypillisiä oireita (Oetzel 2017). Alzahalin ym. (2008) mukaan pötsin lämpötilan kohoaminen voi olla merkki voimakkaasta fermentaatiosta, alhaisesta pH:sta ja siten SARA:sta.

Pötsin pH:n vaihtelu on yksilöllistä, ja tämän vuoksi toiset lehmät ovat alttiimpia SARA:lle kuin toiset (Humer ym. 2015, Schmitz ym. 2018). Muun muassa syöntimäärä, syöntinopeus, rehun lajittelu, syljeneritys, märehtiminen, luontainen mikrobipopulaatio pötsissä, aikaisempi altistuminen happamoitumiselle sekä pötsinesteen poistumisnopeus vaikuttavat lehmän yksilölliseen alttiuteen pötsin happamoitumiselle (Schwartzkopf-Genswein ym. 2003). DeVriesin ym. (2008) mukaan aiemmin koettu SARA lisää alttiutta sairastua siihen toisenkin kerran.

Subakuuttia pötsiasidoosia on tutkittu paljon ja yritetty määrittää raja-arvoja pötsin happamuudelle, joiden toteutuessa lehmällä olisi SARA. Zebelin ym. (2008) määritelmän mukaan lehmällä on kohonnut SARA-riski, jos pötsin keskimääräinen pH vuorokauden aikana on alle 6,16 ja jos pH on päivän aikana pidempään kuin 5,24 tuntia päivästä alle 5,8. Plaizierin ym. (2009) mukaan kohonnut SARA-riski syntyy, kun pötsin pH on yli kolme tuntia vuorokaudessa alle 5,6. Pennerin ym. (2009) kehittämässä indeksissä laskeaan käyrän alle jäävä pinta-ala, eli se ottaa huomioon, kuinka kauan ja kuinka paljon pötsin pH on alle 5,8. Tämän jälkeen lasketaan vielä käyrän alle jäävän pinta-alan suhde kuiva-ainesyöntiin, jotta saadaan lopullinen indeksi, joka kuvaa SARA-riskiä.

4 SYÖNTIKÄYTTÄYTYMINEN

4.1 Syönnin säätely

Syönnin säätely jaetaan lyhytaikaiseen sekä pitkäaikaiseen säätelyyn. Pitkällä aikavälillä eläin pyrkii säilyttämään elopainonsa vakaana, mikä vaikuttaa eläimen pitkän aikavälin syöntiin (McDonald ym. 2011). Lyhytaikainen syönnin säätely vaikuttaa lehmän syöntikäyttäytymiseen päivän aikana (Allen ym. 2009). Lehmän päivittäisen kuiva-aineen syönnin määrittää päivittäisten aterioiden lukumäärä, aterioiden pituus ja syöntinopeus

(Grant ja Albright 2000). Zebelin ym. (2010) mukaan syödyn rehun määrä voi korkeatuottoisilla lehmillä vaihdella 20-28 kg/pv välillä. Forbesin (2000) mukaan monet yhtäaikaiset signaalit eri osista kehoa kertovat keskushermostolle kehon tilasta, ja näiden signaalien summa lopulta määrittää, kuinka paljon eläin syö. Hypotalamus säätelee eläimen syöntiä elimistöstä tulleiden kylläisyssignaalien mukaan (McDonald ym. 2011).

Allenin (2000) mukaan pötsin seinämä lähettää kylläisyssignaaleja pötsin täyttymisestä johtuvan lisääntyneen venytyksen ja jännityksen vuoksi. Seinämät aistivat myös kemiallisten aineiden pitoisuuksia ja lisääntynyt VFA-pitoisuus vähentää syöntiä. Näiden lisäksi maksassa tapahtuvat hapetusreaktiot ja erityisesti propionihapon hapetus maksassa stimuloivat kylläisyssignaalin syntyä (Allen ym. 2009). Allenin ym. (2009) mukaan pötsin täyteisyys on merkittävin syöntiä rajoittava tekijä ummessaolokauden energiaköyhällä dieetillä. Väkirehun osuuden lisääntyessä sen merkitys vähenee ja muiden mekanismien merkitys kasvaa syönnin säätelyssä tuotoskauden alussa. Lypsykaudella lehmän ravintoaineiden tarve on huomattavasti suurempi kuin ummessaoloaikana. Tämän vuoksi lypsävän lehmän elimistö tuottaa heikompiä kylläisyssignaaleja aivoille, ja sen tarvitsee syödä enemmän kylläisyyden tunteen saavuttamiseksi kuin ummessaolevan lehmän (Forbes 2000).

Allenin (2000) mukaan syöntiä lisääviä tekijöitä ovat muun muassa rehun partikkelikoon pienentäminen ja karkearehun osittainen korvaaminen nopeammin sulavalla väkirehulla. Jos karkearehun sulavuus on alhainen tai NDF-pitoisuus suuri, väkirehun lisääminen nostaa kokonaissyöntiä enemmän kuin jos karkearehun sulavuus on korkea, jolloin väkirehu korvaa karkearehua enemmän (Rinne 2000). Forbesin (2000) mukaan tämä johtuu siitä, että kuitupitoisemman rehun sulatus kestää kauemmin.

McDonaldin ym. (2011) mukaan tiineyden aikana sikiön kehitys nostaa syöntiä, mutta tiineyden loppupuolella syönti vähenee, kun pötsillä ei ole sikiön vuoksi niin paljoä tilaa. Myös hormonaaliset tekijät vaikuttavat syöntiin ennen poikimista. Poikimisen jälkeen syönti alkaa lisääntyä.

4.2 Syöntikäyttäytymisen merkitys lehmän hyvinvoinnille

Sisäisten tekijöiden ohella Grantin ja Albrightin (2000) mainitsema syöntiin vaikuttavia ulkoisia tekijöitä ovat lehmän sosiaalinen asema ryhmässä, syöntitila, kilpailu rehusta ja vedestä, eli kaikki tekijät, jotka vaikuttavat eläimen pääsyyn syömään silloin kun se tahoo. Myös ympäristötekijät ja eläimen terveys vaikuttavat lehmän syöntiin. Muutokset syöntiin käytetyssä ajassa tai syönnissä ennen poikimista voivat ennakoita esimerkiksi kohtutulehdusta poikimisen jälkeen (Urton ym. 2005, Huzzey ym. 2007). Kuiva-aineen syönnillä on merkittävä vaikutus lypsylehmän tuotokseen ja kuntoluokan muutokseen tuotoskauden aikana. Lindström ja Redbo (2000) havaitsivat, että syöminen ja märehtiminen käyttäytymismuotoina ovat tärkeitä lehmän hyvinvoinnille riippumatta pötsin täyteisyydestä. Lyhyt syöntiaika (1-2 h vs. 5,5 h) lisäsi eläinten stereotyyppistä käytöstä, esimerkiksi kielen pyöritystä. Korkea väkirehun osuus dieetissä tai rajoitettu syönti lyhentävät syöntiaikaa mahdollisesti liian lyhyeksi lehmän hyvinvoinnin kannalta (Redbo ym. 1996).

Tolkampin ym. (1998) mukaan lehmä jakaa päivittäisen syöntiaikansa aterioihin, joiden välillä se ei syö. He esittivät myös mallin, jolla yksittäisistä syöntikerroista voidaan määrittellä aterian pituus ja aikaväli, jonka jälkeen tuleva syöntikerta määritetään uudeksi ateriaksi. Heidän mukaansa kylläisyyden tunne vaikuttaa aterioiden väliseen aikaväliin. Albrightin (1993) mukaan lehmien syöntijaksot ajoittuvat luontaisesti pääasiassa aamuvarhaiselle ja iltamyöhälle, ja että lehmät priorisoivat syönnin märehtimisen edelle. Grantin ja Albrightin (1995) mukaan korkeatuottoisten lehmien päivittäinen syöntimalli poikkeaa matalatuottoisten lehmien mallista, sillä niiden aterian koko ja syöntinopeus ovat suurempia. Allen (2000) esitti, että aterian koko mahdollisesti pienenee, jos dieetissä on nopeasti fermentoituvia hiilihydraatteja, jotka johtavat pötsin pH:n alenemiseen. Dadon ja Allenin (1994) mukaan vanhemmat ja parempituottoiset lehmät syövät enemmän, suurempia annoksia ja nopeammin, sekä märehtivät pidempään ja tehokkaammin kuin ensikot.

Dieetti ja tuotosvaihe vaikuttavat lehmän märehtimisaikaan, McDonaldin ym. (2011) mukaan se vaihtelee 464-579 min/pv. Schmitzin ym. (2018) mukaan märehtimiseen käytetty aika päivästä alkaa lisääntyä poikimisen jälkeen syönnin kasvaessa. Samalla märehtiminen syötyä kuiva-ainekiloa kohti kuitenkin vähenee. Calamarin ym. (2014) mukaan merkittävästi lyhyempi märehtimisaika viimeisten kymmenen päivän aikana ennen poikimista kertoo terveysongelmista, esimerkiksi tulehdustilasta.

Lehmän syöntikäyttäytyminen ja seoksen lajittelu voivat luoda riskin SARA:n syntymiselle. Nasrollahin ym. (2017) mukaan SARA:a sietävät lehmät syövät enemmän, mutta lajittelevat seosrehua vähemmän kuin SARA:lle herkät lehmät. Kaikissa tutkimuksissa kohonnut SARA-riski ei kuitenkaan ole vähentänyt lehmän kuiva-aineen syöntiä (Humer ym. 2015, Coon ym. 2019). Forbesin (2000) mukaan pötsin pH-tason tasapainottamiseksi ja pötsin häiriöiden välttämiseksi märehittäjä osaa valita kuitupitoisempaa rehua, jos sitä on tarjolla niukkakuituisen rehun lisäksi. Coonin ym. (2019) tuoreessa tutkimuksessa havaittiin, että lehmät, joilla oli pötsin pH:n vaihtelun perusteella pienempi SARA-riski, lajittelivat seosrehua vähemmän. Tällöin niiden ravintoaineiden saanti oli oletetusti tasapainoisempi kuin korkean SARA-riskin lehmillä, jotka lajittelevat apetta enemmän. Tutkimuksessa seosrehussa oli mukana joko pidemmäksi tai lyhyemmäksi silputtua vehnänokea, ja korkean SARA-riskin lehmät lajittelevat pois pidempää olkea. Lyhemmän silpun seosrehua korkean riskin lehmät lajittelevat toisin päin, eli mahdollisesti söivät enemmän fysikaalisesti tehokasta kuitua minimoidakseen alhaisemman pH:n vaikutuksia. Humer ym. (2015) havaitsivat, että SARA:lle herkät söivät suhteessa enemmän väkevämpää seosrehua kuin SARA:a sietävät. He arvelivat eron johtuvan lehmien erilaisesta itsesäätelymekanismista. Myös Gao ja Oba (2014) havaitsivat SARA:lle alttiimpien lehmien lajittelevan seosrehusta pienempiä partikkeleita. Macmillanin ym. (2017) mukaan seosrehun jako kolmesti päivässä yhden kerran sijaan lieventää SARA:lle alttiiden lehmien pötsin pH:n alenemista, sillä lehmät jakavat syönnin silloin tasaisemmin ympäri vuorokauden.

5 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tunnusruokinnan vaikutuksia lypsylehmän syöntikäyttäytymiseen ja verkkomahan happamuuteen siirtymäkauden aikana. Koeruokinoista pyrittiin luomaan käytännön kannalta mahdollisimman yksinkertaisia, jolloin käytettiin samaa säilörehua ennen ja jälkeen poikimisen. Erillisruokinnalla ja nopealla väkirehumäärän lisäyksellä pyrittiin voimistamaan pötsifermentaation mahdollisia muutoksia poikimisen jälkeen. Tutkimuksen hypoteesi oli, että tunnusväkirehun antaminen ennen poikimista lisää rehun syöntiä ja märehittämiseen ja syötiin käytettyä aikaa sekä ehkäisee verkkomahan pH:n laskua poikimisen jälkeen tunnuttamattomiin verrattuna.

6 AINEISTO JA MENETELMÄT

6.1 Koejärjestelyt

Koe suoritettiin Helsingin yliopiston Viikin opetus- ja tutkimustilalla 2.11.2017–17.4.2018. Tutkimukseen valittiin 16 vähintään toista kertaa poikivaa ayrshire-lehmää. Koemalli oli täydellisesti satunnaistettu lohkokoe. Lehmät jaettiin pareihin poikimakeran, edellisen kauden maitotuotoksen, painon ja odotetun poikimapäivän perusteella. Koeruokinnat arvottiin kunkin parin lehmille eli toinen lehmistä arvottiin tunnutettavien ryhmään ja toinen ei-tunnutettavien ryhmään. Koeruokinta aloitettiin 3 viikkoa ennen odotettua poikimispäivää. Tulosten käsittelyssä huomioitiin toteutunut poikimapäivä ja tuloksiin otettiin mukaan kolmen viikon jakso ennen toteutunutta poikimapäivää. Koe päättyi 8 viikkoa toteutuneen poikimapäivän jälkeen. Lehmät olivat parsissa poikimista edeltävän ajan sekä 10 päivää poikimisen jälkeen. Tämän jälkeen lehmät siirrettiin pihattoon. Poikimisen ajaksi lehmät siirrettiin parresta poikimakarsinaan. Parsissa sekä poikimakarsinassa lehmät lypsettiin putkilypsykoneella (DeLaval, Tumba, Ruotsi) kaksi kertaa päivässä (klo 6.00 ja 17.00) ja pihatossa lypsyrobotilla (Lely Astronaut A3, Lely International, Maassluis, Alankomaat).

Yksi tunnutettavista koelehmistä kuoli ja sen tilalle valittiin uusi lehmä. Kuolleella lehmällä todettiin puhjennut juoksutusmahahaava ja sen seurauksena yleistynyt vatsakalvontulehdus. Lisäksi yksi koelehmä sairastui pian poikimisen jälkeen ja se jouduttiin poistamaan kokeesta. Koelehmää ei voitu enää korvata toisella lehmällä. Kyseisen lehmän kohdalta otettiin kaikista mittauksista tilastolliseen analyysiin mukaan vain poikimista edeltävä jakso. Kaksi tunnutettavaa ja yksi tunnuttamaton lehmä sai poikimahalvauksen. Molemmissa ryhmissä esiintyi useilla lehmillä erilaisia yksittäisiä, esimerkiksi syöntiin liittyviä tilapäisiä ongelmia. Syöntiongelmien yhteydessä lehmille annettiin tarvittaessa pötsin toimintaa tasapainottavia valmisteita, kuivaa heinää sekä propyleeniglykolia. Kokeen eläinmäärä oli liian pieni eläinten terveysongelmien tilastolliseen analyysiin.

6.2 Rehut ja ruokinta

Ummessaoloaikana koelehmät ruokittiin nurmisäilörehulla. Kokeessa käytettiin 1. ja 2. sadon säilörehua, joka oli säilötty laakasiiloihin. Ei-tunnetuttavien ryhmä sai poikimiseen asti vapaasti nurmisäilörehua ja tunnetuttavien ryhmä sai lisäksi kotoista väkirehuseosta (Taulukko 1) erillisruokintana. Tunnetusvaiheessa annettiin 1. sadon säilörehua. Tunnetusväkirehu jaettiin kahdesti päivässä (klo 6 ja 17) erillisiin väkirehukuppeihin paitsi ensimmäisellä tunnetusviikolla, jolloin väkirehuannos jaettiin vain aamuisin. Säilörehu jaettiin käsin kahdesti päivässä (klo 9 ja 18). Tunnetusväkirehu oli kokeen alussa täysin samaa kuin poikimisen jälkeen annettu tilaseos. Se sisälsi 32 % ohraa, 39 % kauraa, 15 % härkäpapua, 10 % melassileikettä, 3 % Seleen-E-Melli TMR -kivennäistä (RaisioAgro Oy, Raisio, Suomi) ja 1 % propyleeniglykolia. Kaikki koelehmät saivat kokeen alussa ennen poikimista 100 g/pv Tunnu-Melli -kivennäistä (RaisioAgro Oy, Raisio, Suomi) ja Seleen-E-Melli TMR -kivennäistä (RaisioAgro Oy, Raisio, Suomi) joko tunnetusväkirehun mukana tai tunnettamattomille erikseen aamuisin. Tunnetusväkirehun koostumuksen perusteella lasketut Seleen-E-Melli TMR -määrät olivat 30, 75 ja 120 g/pv eri tunnetusviikoilla. Kokeen aikana (21.12. alkaen) tunnetusväkirehusta poistettiin poikimahalvausriskin pienentämiseksi Seleen-E-Melli TMR -kivennäinen ja molempien ryhmien lehmät saivat sen jälkeen vain 200 g/pv Tunnu-Melli -kivennäistä (RaisioAgro Oy, Raisio, Suomi) ennen poikimista.

Taulukko 1. Väkirehun määrä (kg/pv) ennen poikimista ja poikimisen jälkeen.

Aika poikimiseen	Ei tunnetusta		Tunnetus	
	Tilaseos	Amino-Maituri 30	Tilaseos	Amino-Maituri 30
- 3 vk		0		0
- 2vk		0	2,5	0
- 1 vk		0	4	0
0 pv		2	4	0
+1 pv		4	4	0
+2 pv		4,25	4,25	0,75
+3 pv		5,10	5,10	0,90
+4 pv		5,95	5,95	1,05
+5 pv		6,80	6,80	1,20
+6 pv		7,65	7,65	1,35
+7 pv		8,50	8,50	1,50
+8 pv		8,50	8,50	1,50
+9 pv		8,50	8,50	1,50
+10 pv		8,50	8,50	1,50

Poikimisen jälkeen molemmat ryhmät ruokittiin samalla tavalla. Lehmät saivat säilörehua vapaasti, sekä väkirehua erillisistä väkirehukupeista kymmenen päivän ajan poikimisen

jälkeen (Taulukko 1). Erillisruokinnassa käytettiin 1. sadon säilörehua. Poikimisen jälkeinen väkirehuseos koostui tilaseoksesta, Amino-Maituri 30 -valkuaistiivisteestä (RaisioAgro Oy, Raisio, Suomi), sekä Seleeni-E-Melli TMR -kivennäisestä (3 % ilma-kuivasta). Väki rehuseos jaettiin kolmesti päivässä (klo 6.00, 12.00 ja 17.00). Parressa olleiden koelehmien rehukupit tyhjennettiin päivittäin aamuisin klo 8.30. Säilörehujätteen sekä mahdollisen väkirehujätteen määrä kirjattiin ylös. Aamulla jaetun tuoreen säilörehun päälle annettiin poikineille lisäksi 200 g/pv Seleeni-E-Melli TMR -kivennäistä. Kymmenen päivän kuluttua poikimisesta lehmät alkoivat saada seosrehua vapaasti erillisruokinnan sijasta ja ne siirrettiin pihattoon. Seosrehu sisälsi 65 % (kuiva-aineesta) säilörehua ja 35 % tilaseosta. Seosrehun lisäksi ne saivat Maituri 10000 -täysrehua (RaisioAgro Oy, Raisio, Suomi) sekä Amino-Maituri 30 -valkuaistiivistettä lypsrobotilta (Taulukko 2). Seoksessa käytetty säilörehu vaihtui 1. sadosta 2. satoon 4.2. alkaen.

Taulukko 2. Robotilta jaetun väkirehun määrä (kg/pv) pihattoon siirron jälkeen.

Aika poikimisesta	Maituri 10000	Amino-Maituri 30
+11 pv	3,5	1,5
+2 vk	4	1,5
+3 vk	5	1,5
+4 vk	6	2
+5 vk	6	3

6.3 Mittaukset

Märehtimis-, syönti- ja pH-mittauksia kerättiin 21 päivää ennen poikimista ja 56 päivää poikimisen jälkeen. Poikimapäivä poistettiin kaikista datoista. Säilörehusta otettiin analyysinäytteet maanantaisin ja torstaisin. Tämän lisäksi maanantaisin otettiin näyte rehun kuiva-aineen sekä pH:n määrittämiseksi. Käytetyistä väkirehuista sekä kivennäisistä otettiin rehunäytteet kuukausittain.

6.3.1 Verkkomahan pH ja lämpötila

Kokeessa käytettyjen lehmien verkkomahaan asetettiin pH:ta ja lämpötilaa mittaava bolus (SmaXtec Premium Bolus, SmaXtec Animal Care, Graz, Itävalta) suun kautta ennen kokeen alkua. Kymmenen minuutin välein automaattisesti mitatut pH-arvot ja läm-

pötilat siirtyivät langattomasti boluksesta tukiasemaan ja sitä kautta järjestelmän toimitajan tietokantaan, josta tiedot siirrettiin taulukkolaskentaohjelmaan. Kerätty pH-data tiivistettiin jokaisella lehmällä päivä- ja viikkokohtaisiksi keskiarvoiksi ennen tilastollista analyysia. pH:n päivittäiset maksimi- ja minimiarvot määritettiin tuntikeskiarvojen perusteella ja pH:n päivittäinen vaihtelu laskettiin näiden arvojen erotuksena. Verkkomahan pH:n keskimääräinen päivittäinen viipymäaika SARA:n raja-arvojen (pH 6,0 ja 6,3) alapuolella laskettiin raja-arvot alittavien 10 minuutin jaksojen summana kultakin tarkasteluväliltä (ennen poikimista, päivät 1-10 poikimisen jälkeen ja koko poikimisen jälkeinen aika) ja jakamalla summa tarkasteluvälin päivien lukumäärällä. Vastaavasti laskettiin verkkomahan lämpötilan raja-arvot 39,5 °C ja 40 °C ylittävät keskimääräiset päivittäisen ajan pituudet.

6.3.2 Syöntikäyttäytyminen

Syöntikäyttäytymistä mitattiin RIC-rehukuppien (Roughage Intake Control, Insentec, Marknesse, Alankomaat) avulla. Kupit rekisteröivät automaattisesti jokaisen syöntitapahtuman, syönnin keston ja syödyn rehun määrän. Ennen tilastollista analyysia syöntidatasta poistettiin selkeät virhemittaukset, sekä sellaiset päivät, jolloin oli tapahtunut jotain merkittävästi lehmän syöntikäyttäytymiseen vaikuttavaa. Virhemittauksiksi määritettiin esimerkiksi syöntitapahtumat, joissa lehmä oli datan mukaan syönyt erittäin suuren annoksen hyvin lyhyessä ajassa. Tällöin todennäköisesti parressa olleen lehmän erillinen väkirehukuppi oli kiinnitetty tai poistettu ilman, että RIC-rehukuppia oli suljettu, jolloin toiminta rekisteröityi dataan syöntikertana. Kaikki päivät, jolloin lehmää siirrettiin parren, karsinan tai pihatton välillä poistettiin käyttäytymisdatasta, koska samalla lehmän syöntiympäristö muuttui. Kolme lehmää sairastui poikimahalvaukseen poikimisen jälkeen. Näiltä lehmiltä poistettiin käyttäytymisdatasta päivät, jolloin ne eivät ole itsenäisesti kyenneet syömään rehua rehukupista. Kokeen aikana oli joinakin päivinä teknisiä ongelmia rehukoppien tiedonsiirrossa. Vain osittain tallentuneet päivät poistettiin datasta. Syöntitapahtumat jaettiin syöntijaksoihin, joita erotti yli 5 minuutin väli syöntitapahtumissa. Parressa olleiden lehmien kuiva-ainesyönnit laskettiin rehukoppien vaakanäytöiltä käsin kirjattujen syöntien mukaan, sillä rehukuppi ei erillisruokinnassa osannut erotella väkirehun ja säilörehun syöntiä. Kuiva-ainesyönnin määrää mittaavasta datasta poistettiin pääsääntöisesti vastaavat päivät kuin käyttäytymisdatasta. Kuitenkin 1-10 päivää poikimisen

jälkeen laskettiin käsin kirjattujen syöntien mukaan kaikki päivät, koska ajanjaksolle osui poikimahalvauksia lukuun ottamatta pääsääntöisesti vain kupin toiminnasta johtuneita poistoja.

6.3.3 Märehtiminen

Lehmien märehtimistiedot kerättiin niiden kaulassa olleista märepannoista (QWES-HR aktiivisuussensori, Lely Industries, Maassluis, Alankomaat), jotka mittasivat päivittäistä märehtimiseen käytettyä aikaa. Parsissa ja poikimakarsinoissa ei ollut robotin tapaan kiinteää lukijaa. Ennen pihattoon siirtoa lehmien märehtimistiedot kerättiin kannettavalla lukijalla (QWES-ID, Lely Industries, Maassluis, Alankomaat) joka aamu. Märepanna tallensi märehtimisiä kahden tunnin jaksoissa. Näistä jaksoista laskettiin päivittäinen kokonaimärehtimisaika ennen tilastollista analyysiä. Koska pantojen lukeminen ei tapahtunut joka päivä samaan aikaan, eivät koko vuorokauden tiedot välttämättä mahtuneet pannan muistiin. Aineistosta poistettiin ne päivät, jolloin lehmälle oli tallentunut märehtimistietoja alle 20 tunnin ajalta. Jos vuorokaudelta oli tallentunut märehtimisdataa 20 tai 22 tunnin ajalta, muunnettiin data vastaamaan 24 tunnin aineistoa siten, että puuttuvat kahden tunnin jaksot korvattiin muista päivän kahden tunnin jaksoista lasketuilla keskiarvoilla. Kannettavan lukijan teknisten ongelmien vuoksi kaikilta päiviltä ei saatu kerättyä märehtimistietoja. Aineistosta poistettiin rehukuppidataa vastaavasti sellaiset päivät, jolloin lehmä oli siirretty, tai jolloin niillä oli ollut poikimahalvaus. Datasta laskettiin myös päivittäisen märehtimisajan viikkokeskiarvot. Näiden laskennassa otettiin huomioon vain sellaiset viikot, joista oli dataa saatavilla vähintään neljältä kokonaiselta päivältä.

6.4 Näytteiden analysointi

Säilörehusta analysoitiin primäärinen ja sekundäärinen kuiva-aine, tuhka, raakavalkuainen, rasvapitoisuus, NDF, in vitro -sulavuus, maitohappo, sokeri, ammoniumtyppi, etanoli, haihtuvat rasvahapot ja pH. Väkiprehuista määritettiin primäärinen ja sekundäärinen kuiva-aine, tuhka, raakavalkuainen, rasvapitoisuus, NDF ja tuhkaton NDF. Solunsisällyshiilihydraattien (NFC) pitoisuus (g/kg ka) laskettiin erotuksena: 1000 – tuhkapitoisuus – raakavalkuaispitoisuus – rasvapitoisuus – NDF-pitoisuus.

Primäärisen kuiva-aineen määrittämiseksi näytteitä kuivattiin 103 °C:ssa lämpökaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Schwabach, Saksa) 20-24 tunnin ajan. Pakastuksen jälkeen sulatetut analyysinäytteet kuivattiin tuulettavassa kuivauskaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Schwabach, Saksa) ensin 103 °C:ssa tunnin ajan ja sen jälkeen 50 °C:ssa kahden vuorokauden ajan. Kuivatut analyysinäytteet jauhettiin 1 mm:n seulalla vasaramyllyllä (Sakomylly KT-3100, Koneteollisuus Oy, Helsinki, Suomi). Sekundäärinen kuiva-aine määritettiin kuivaamalla analyysinäytteitä 103 °C:ssa lämpökaapissa 17 tuntia. Tuhkapiitoisuuden määrittämiseksi analyysinäytettä poltettiin 600 °C:ssa muhveliuunissa (Heraeus Thermicon T, Heraeus, Hanau, Saksa) 20-24 tunnin ajan. Typpipitoisuus määritettiin Kjeldahl-menetelmällä (AOAC 1995) polttolaitetta (Tecator Digestion Auto, Tecator Scubber) sekä tislauksen ja titrauslaitteistoa (FOSS Kjeltex Auto 2300, Foss, Hillerød, Tanska) käyttäen. Neutraalidetergenttikuitu NDF määritettiin Van Soest'in ym. (1991) mukaan kuuma- ja kylmäuuttolaitteella (Tecator Fibertec System 1020/1021, Foss, Hillerød, Tanska). Väkihiukosten rasvapitoisuus määritettiin petroolieetteriuutolla HCl-hydrolyysin jälkeen (FOSS Soxtec 8000 uuttoyksikkö, SoxCap 2047 hydrolyysiyksikkö, FOSS Analytical, Hillerød, Tanska).

Säilörehunäytteistä määritettiin spektrofotometrillä (Shimadzu UV-VIS mini 1240, Shimadzu Europa GmbH, Duisburg, Saksa) kolorimetrisellä menetelmällä maitohappo (Barker ja Summerson 1941), vesiliukoiset hiilihydraatit (Somogyi 1945, Salo 1965), ammoniumtyppi (McCullough 1967). Etanoli määritettiin kolorimetrisesti entsyymikittiä käyttäen (cat. No 176290, R-Biopharm AG, Darmstadt, Saksa). Haihtuvat rasvahapot (VFA) määritettiin nestekromatografilla (Waters Acquity UPLC, Waters, Milford, MA, Yhdysvallat) käyttäen kolonnia (186004097, Waters MassTrak AAA, Waters, Milford, MA, Yhdysvallat). Säilörehun orgaanisen aiheen *in vitro* -sulavuus määritettiin pepsiini-sellulaasi-menetelmällä (Friedel 1990), Nousiainen ym. (2003) muunnelmaa käyttäen. Tulokset muunnettiin *in vivo* -sulavuutta vastaavaksi Huhtasen ym. (2006) korjausyhtälöitä käyttäen. D-arvo laskettiin *in vitro* -sulavuuden perusteella. Säilörehun kuiva-ainepitoisuudelle laskettiin kuiva-ainekorjaus Huidan ym. (1986) mukaan. Säilörehun pH mitattiin säilörehusta puristetusta nesteestä pH-mittarilla (S20 SevenEasy™ pH, Mettler-Toledo Ltd, Leicester, Iso-Britannia).

6.5 Tilastollinen analyysi

Syönti-, märehimis- ja pH-data analysoitiin kolmessa jaksossa: ennen poikimista, päivät 1-10 poikimisen jälkeen, sekä koko poikimisen jälkeinen aika. Koko poikimisen jälkeinen aika analysoitiin viikkokeskiarvoja käyttäen ja muissa jaksoissa käytettiin päiväkohtaisia arvoja. Niistä muuttujista, joiden kohdalla aineistoa ei saatu muutettua normaalijakautuneeksi päiväkohtaisissa keskiarvoissa, analysoitiin viikkokeskiarvot.

Tilastollinen analyysi tehtiin SAS-ohjelmalla (versio 9.4). Tulokset analysoitiin Proc Mixed -proseduurilla toistettujen mittausten mallilla, jossa ruokinta ja aika suhteessa poikimiseen (päivä tai viikko) sekä ajan ja ruokinnan yhdysvaikutus olivat kiinteinä tekijöinä sekä pari ja parin ja ajan yhdysvaikutus satunnaisina tekijöinä. Toistettujen mittausten mallin analyysissä käytettiin kolmea erilaista kovarianssirakennetta ”compound symmetry” (CS), ”unstructured” (UN) ja ”autoregressive” (AR1). Mikäli mittausten aikavälit eivät olleet samanmittaisia, esimerkiksi puuttuvien havaintojen takia, AR1-rakenteen sijasta käytettiin ”spatial power” (SP(POW)) -kovarianssirakennetta. Tilastollisen mallin kovarianssirakenteeksi valittiin se, jolla oli pienin Bayesilaisen informaatiokriteerin arvo. Aineiston normaalijakautuneisuus testattiin käyttäen tilastollisen mallin tuottamia residuaaleja ja Shapiro-Wilkin testiä. Jos aineisto ei ollut normaalijakautunut, sille tehtiin logaritmi-, neliöjuuri- tai neliömuunnos ennen tilastollista laskentaa normaalijakautuneisuuden lisäämiseksi. Jos muunnos ei parantanut aineiston normaalijakautuneisuutta, aineistosta poistettiin poikkeavat havainnot käyttäen poistokriteerinä kvartiiliväliä (IQR). Ne havainnot, joiden residuaali oli suurempi kuin yläkvartiili + 1,5*IQR tai pienempi kuin alakvartiili - 1,5*IQR, katsottiin poikkeaviksi havainnoiksi.

7 TULOKSET

7.1 Rehujen kemiallinen koostumus

Käytössä olleet 1. ja 2. sadon säilörehut olivat kuiva-ainepitoisuudeltaan samankaltaiset (Taulukko 3). Toisen sadon rehussa oli suurempi raakavalkuais- ja solunsisällyshiilihydraattipitoisuus, mutta pienempi NDF-pitoisuus kuin 1. sadon rehussa. Toisen sadon säilörehussa oli enemmän maitohappoa ja etikkahappoa, mutta vähemmän sokeria kuin 1.

sadon rehussa. Ensimmäisen sadon säilörehussa oli propionihappoa ja voi-happoa, joita ei toisen sadon rehussa ollut. Ensimmäisen sadon säilörehun pH oli korkeampi kuin 2. sadon.

Taulukko 3. Rehujen kemiallinen koostumus, säilörehun säilönnällinen laatu sekä rehujen rehuarvot.

	Säilörehu 1. sato	Säilörehu 2. sato	Tilaseos 1	Tilaseos 2	Maituri 10000	Amino- Maituri 30
Kuiva-aine, g/kg ka	262	267	865	858	870	870
tuhka, g/kg ka	76,3	87,2	63,5	32,2	69,4	72,9
raakavalkuainen, g/kg ka	157	193	150	159	204	291
Raakarasva, g/kg ka	40	40				
HCL-rasva, g/kg ka			27,0	31,6	36,8	40,1
NDF, g/kg ka	528	452	221	223	248	208
NFC, g/kg ka	197	228	533	549	450	397
Maitohappo, g/kg ka	82,0	115				
Sokeri, g/kg ka	69,2	25,2				
NH ₃ -N, g/kg N	72,9	41,0				
Etanoli, g/kg ka	4,13	4,57				
Etikkahappo, g/kg ka	10,1	16,4				
Propionihappo, g/kg ka	0,18	0				
Voihappo, g/kg ka	1,21	0				
pH	4,20	3,96				
ME, MJ/kg ka	11,4	11,5	12,3	12,3	12,8	12,7
OIV, g/kg ka	86,2	90,3	95,4	95,4	119	148
PVT, g/kg ka	28,8	59,2	3,2	3,2	38,0	98,0
D-arvo, g/kg ka	714	717				

Tilaseos 1: Poikineille, ja ennen 21.12 tunnutettaville, Tilaseos 2: tunnutettaville 21.12 jälkeen, NDF: Neutraalidetergenttikuitu, NFC: solunsisällyshiilihydraatit, NH₃-N: ammoniakityppi, ME: muuntokelpoinen energia, OIV: ohutsuolesta imeytyvä valkuainen, PVT: pötsin valkuais-tase. Säilörehun rasvapitoisuudelle käytettiin rehu-taulukoista saatua arvoa.

Ennen poikimista tunnutettavien dieetin ME-pitoisuus oli 12,0 MJ/kg ka, NDF-pitoisuus oli 481 g/kg ka ja raakavalkuais-pitoisuus 163 g/kg ka. Vastaavasti tunnuttamattomien dieetin ME-pitoisuus oli 11,4 MJ/kg ka, NDF-pitoisuus oli 530 g/kg ka ja raakavalkuais-pitoisuus oli 159 g/kg ka. Poikimisen jälkeen kaikkien lehmien keskimääräinen dieetin ME-pitoisuus oli 12,5 MJ/kg ka, NDF-pitoisuus oli 370 g/kg ka ja raakavalkuais-pitoisuus oli 187 g/kg ka.

7.2 Ennen poikimista

Ruokinnalla tai ajalla ei ollut vaikutusta verkkomahan keskimääräiseen pH-arvoon eikä pH:n minimi- tai maksimiarvoon ennen poikimista (Taulukko 4). Tunnutettavien ryhmässä pH:n vuorokausittainen vaihtelu oli suuntaa-antavasti ($p=0,09$) suurempi kuin tunnuttamattomien. Ruokinnalla ei ollut vaikutusta aikaan, jonka pH oli alle 6,3 tai lämpötila oli yli 39,5 °C tai yli 40,0 °C.

Taulukko 4. Verkkomahan pH ja lämpötila kolmen viimeisen tiineysviikon aikana.

	Tunnutettavat	Tunnuttamattomat	SEM	p-arvot		
				ruokinta	aika	ruokinta x aika
Keskimääräinen pH*	6,62	6,64	0,033	0,54	0,26	0,35
Minimi pH*	6,47	6,48	0,033	0,68	0,29	0,92
Maksimi pH	6,76	6,80	0,031	0,11	0,34	0,75
pH-vaihtelu (min-max)	0,29	0,30	0,009			
pH-vaihtelu (min-max), log	-1,28	-1,23	0,032	0,09	0,38	0,97
pH <6,3, min/pv	0,77	0,82	0,223	0,89		
Lämpötila >39,5 °C, min/pv	922	1011	90,8	0,31		
Lämpötila >40,0 °C, min/pv	289	313	111,9	0,78		

*: Viikkokeskiarvoja käytettiin niillä muuttujilla, joiden päivittäiset havainnot eivät olleet muunnosten tai outliereiden poiston jälkeen normaalijakautuneita.

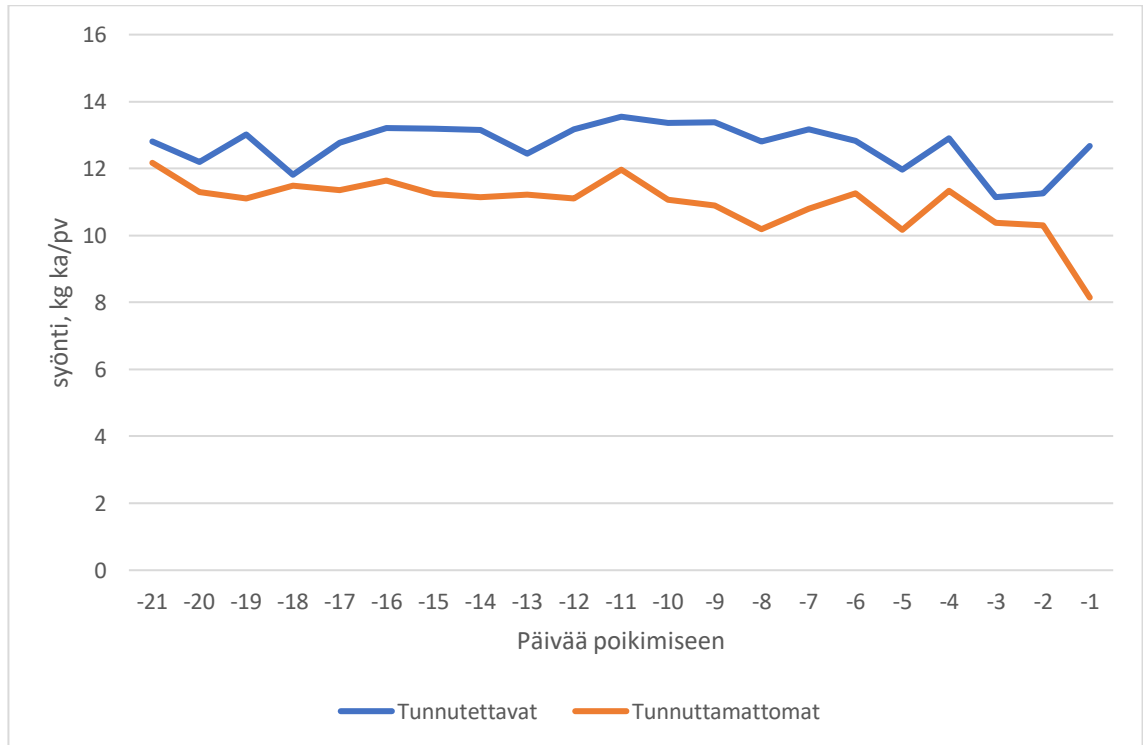
Ennen poikimista lehmien tuoresyönnissä, syöntijaksojen määrässä, syöntijaksojen kestossa tai syöntimäärässä syöntijaksoa kohti ei ollut eroa koeruokintojen välillä (Taulukko 5). Tunnutettavat söivät kuiva-ainetta enemmän kuin tunnuttamattomat (12,7 vs. 11,0 kg ka/pv, $p=0,01$), mutta säilörehun kuiva-ainesyönnissä ei ollut eroa. Tunnutettavien lehmien kuiva-ainesyönti väheni poikimisen lähestyessä vähemmän kuin tunnuttamattomien (ruokinta * aika $p=0,004$; Kuva 1). Tunnutettavat käyttivät päivässä vähemmän aikaa syömiseen ($p<0,001$) ja söivät sekä tuore- että kuiva-ainekiloja nopeammin ($p<0,001$) kuin tunnuttamattomat. Poikimisen lähestyessä lehmien päivittäinen kuiva-aine ($p<0,001$) ja tuoresyönti ($p<0,001$) sekä syötiin käyttämä aika ($p=0,001$) vähenivät. Samalla syöntijaksojen lukumäärä kasvoi etenkin poikimista edeltävinä päivinä ($p=0,02$). Tuoresyöntinopeus, syöntijaksojen kesto tai syöntimäärä syöntijaksoa kohti ei muuttunut poikimista edeltävänä aikana. Kuiva-aineen syönti nopeutui hieman poikimisen lähestyessä ($p=0,01$). Ruokinnan ja ajan yhdysvaikutus oli suuntaa antava kuiva-aineen syöntinopeudessa ($p=0,06$) ja syöntijaksojen kestossa ($p=0,08$). Syöntinopeus oli tunnuttamattomilla hitaampi ja pysyi vakaampana kuin tunnutetuilla, joilla päivittäinen vaihtelu oli

syöntinopeudessa suurempaa (Kuva 2). Tunnutetuilla lehmillä syöntijaksojen kesto lyheni tasaisesti poikimisen lähestyessä, mutta tunnuttamattomilla jaksojen kestot eivät lyhentyneet (Kuva 3 **Virhe. Viitteen lähde ei löytynyt.**). Ennen poikimista tunnuttamattomat lehmät käyttivät enemmän aikaa märehtimiseen päivässä kuin tunnutettujen lehmien ryhmä ($p=0,01$). Ruokinnan ja ajan yhdysvaikutus oli lähellä suuntaa-antavaa ($p=0,11$) siten, että tunnutettujen lehmien märehtimisaika lyheni määrällisesti enemmän poikimisen lähestyessä kuin tunnuttamattomien (Kuva 4).

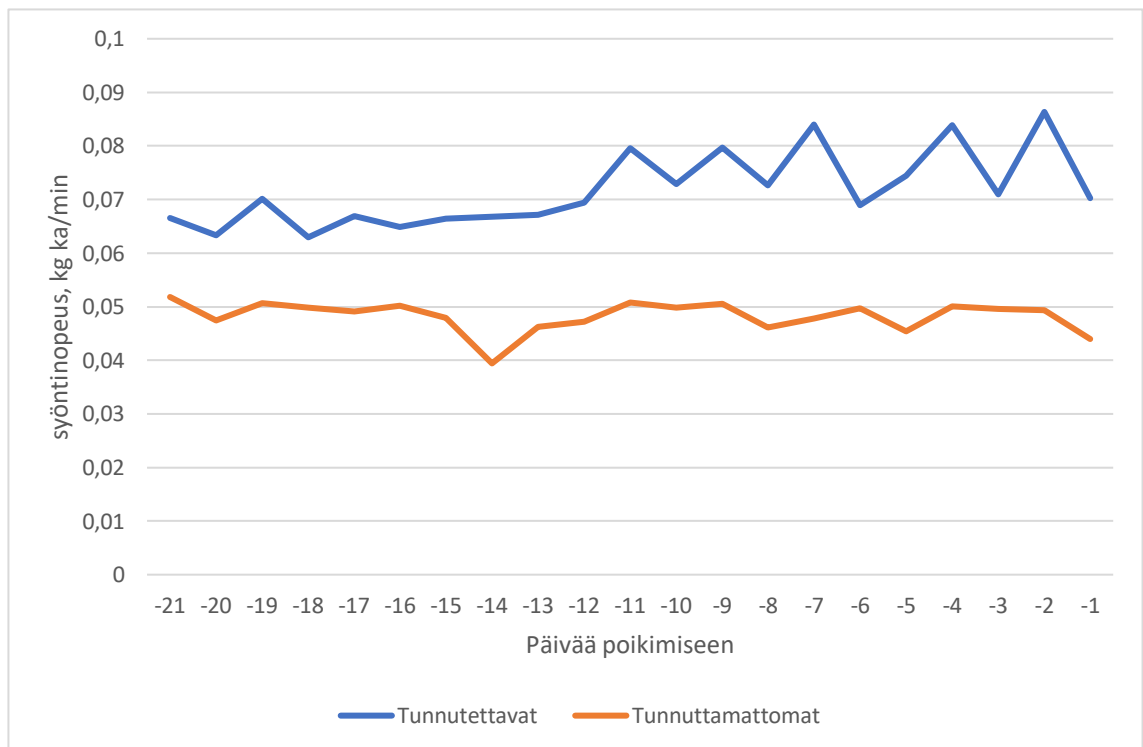
Taulukko 5. Syöntikäyttäytyminen ja märehtiminen kolmen viimeisen tiineysviikon aikana.

	Tunnettavat	Tunuttamattomat	SEM	p-arvot			
				ruokinta	aika	ruokinta x aika	
Syöti							
Syöti, kg ka/pv	12,7	11,0	0,58	0,01	<0,001	0,004	
Säilörehun syöti, kg ka/pv*	10,4	11,3	0,64	0,19	0,02	0,52	
Syöti, kg tuore/pv	43,8	44,5	2,73	0,76	<0,001	0,15	
Syöntiaika, min/pv	180	230	11,5				
Syöntiaika, min/pv, log	5,16	5,42	0,059	<0,001	0,001	0,28	
Syöntinopeus, kg tuore/min	0,25	0,19	0,014				
Syöntinopeus, kg tuore/min, log	-1,42	-1,66	0,061	<0,001	0,61	0,20	
Syöntinopeus, kg ka/min	0,07	0,05	0,004				
Syöntinopeus, kg ka/min, ne- liöjuurimuunnos	0,27	0,22	0,006	<0,001	0,01	0,06	
Jaksojen lkm/pv	18,4	16,8	1,55				
Jaksojen lkm/pv, log	2,86	2,79	0,086	0,58	0,02	0,96	
Jaksojen kesto, min*	4,66	6,49	1,099				
Jaksojen kesto, min, log*	1,45	1,71	0,190	0,32	0,51	0,08	
Syöti/jakso, kg/jakso*	2,70	2,96	0,499				
Syöti/jakso, kg/jakso, log*	0,87	0,95	0,166	0,76	0,17	0,16	
Märehtiminen							
Märehtiminen, min/pv	395	465	22,6	0,01	0,55	0,11	

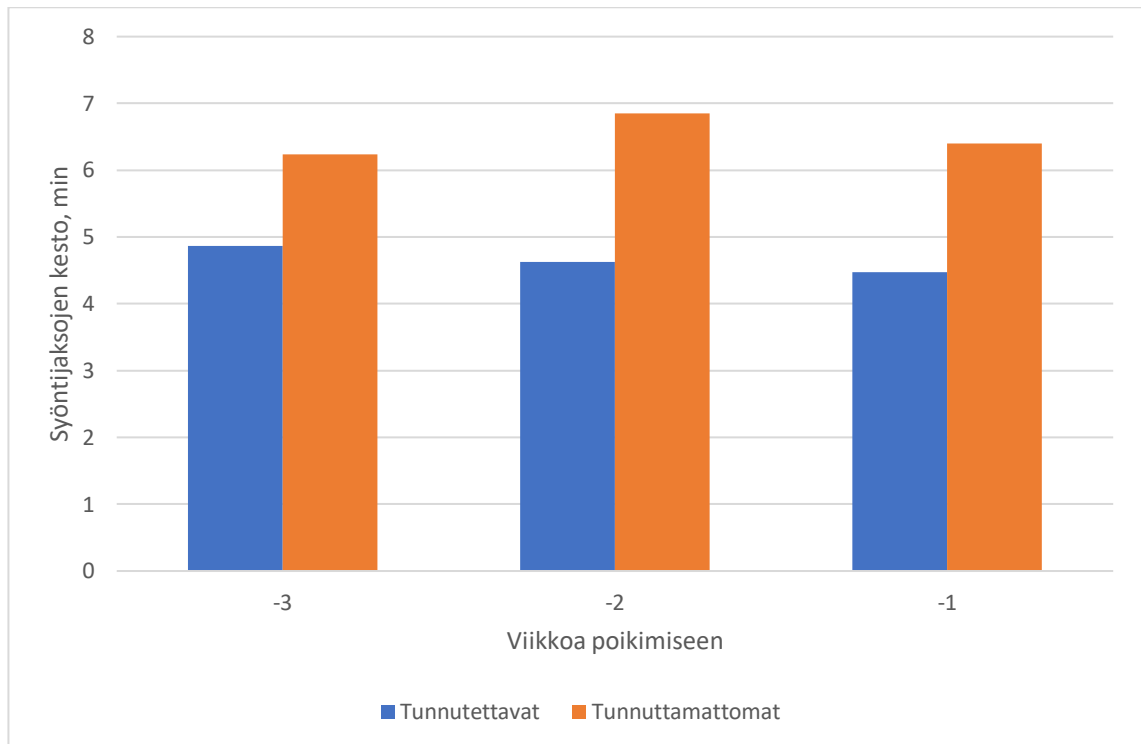
*: Viikkokeskiarvoja käytettiin niillä muuttujilla, joiden päivittäiset havainnot eivät olleet muunnosten tai outliereiden poiston jälkeen normaalijakautuneita.



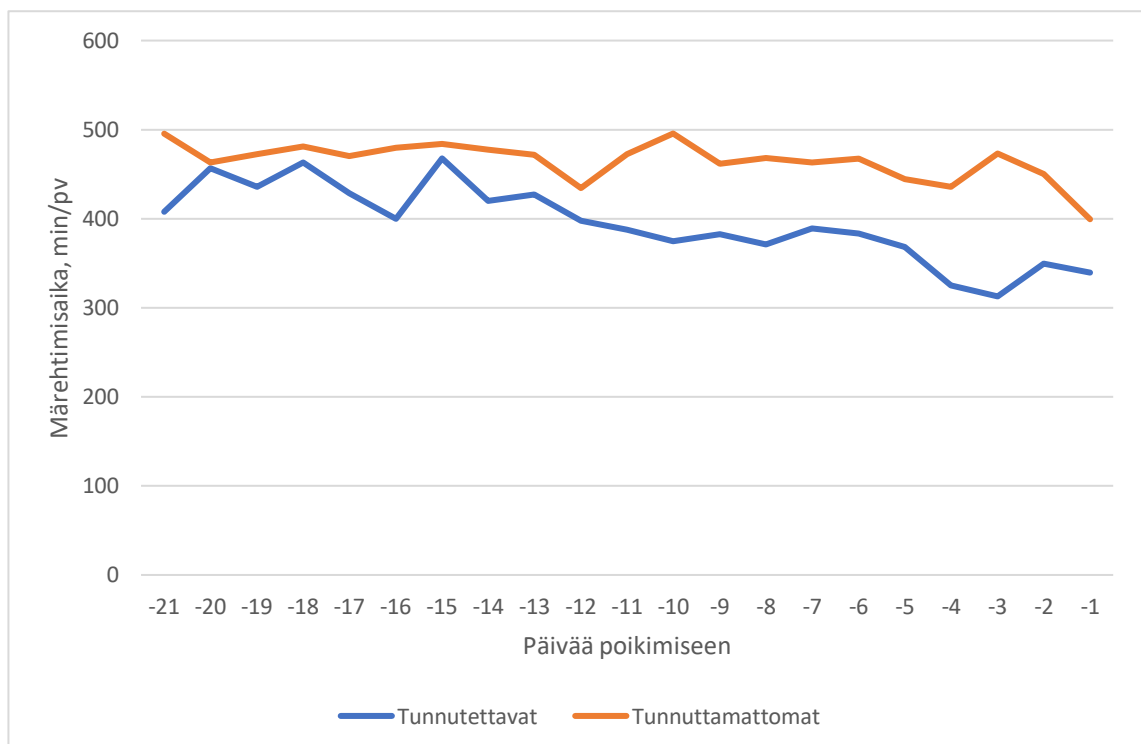
Kuva 1. Kuiva-ainesöinti ennen poikimista. Ruokintojen välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero lukuun ottamatta päiviä -21, -20, -18, -17, -13, -4, -3 ja -2 ennen poikimista.



Kuva 2. Kuiva-aineen syöntinopeus päiväkeskiarvoina ennen poikimista.



Kuva 3. Syöntijaksojen kesto viikoittain ennen poikimista.



Kuva 4. Märehtimisaika min/pv päiväkeskiarvoina ennen poikimista.

7.3 Poikimisen jälkeen

Ruokinta ei vaikuttanut verkkomahan pH-arvoon, pH:n minimi- ja maksimiarvoon tai pH:n vuorokausittaisen vaihtelun suuruuteen ensimmäisten kymmenen päivän aikana poikimisen jälkeen (Taulukko 6). Vain maksimi-pH muuttui ensimmäisten kymmenen päivän aikana ($p < 0,001$). Ruokinnalla ja ajalla oli tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus keskimääräiseen pH-arvoon ($p = 0,02$) sekä maksimi pH-arvoon ($p < 0,001$). Tunnutetuilla lehmillä sekä pH-arvo (Kuva 5), että maksimi-pH (Kuva 6) olivat ensimmäisenä päivänä poikimisesta korkealla ja putosivat seuraavana päivänä samalle tai hieman alhaisemmalle tasolle kuin tunnuttamattomilla lehmillä. Päivän 3 jälkeen keskimääräinen pH nousi molemmissa ryhmissä ($p < 0,001$). Ruokinnalla ei ollut vaikutusta aikaan, jonka pötsin pH oli alle 6 tai alle 6,3. Tunnutettavilla verkkomahan keskimääräinen lämpötila oli 0,09 astetta korkeampi kuin tunnuttamattomien ($p = 0,03$). Ruokinnalla ei ollut vaikutusta verkkomahan maksimilämpötilaan, mutta se nousi ensimmäisten neljän päivän ajan poikimisen jälkeen ($p < 0,001$). Ruokinta ei vaikuttanut aikaan, jonka verkkomahan lämpötila oli yli 39,5 °C tai yli 40,0 °C.

Taulukko 6. Verkkomahan pH ja lämpötila päiväkeskiarvoina 1-10 päivää poikimisen jälkeen.

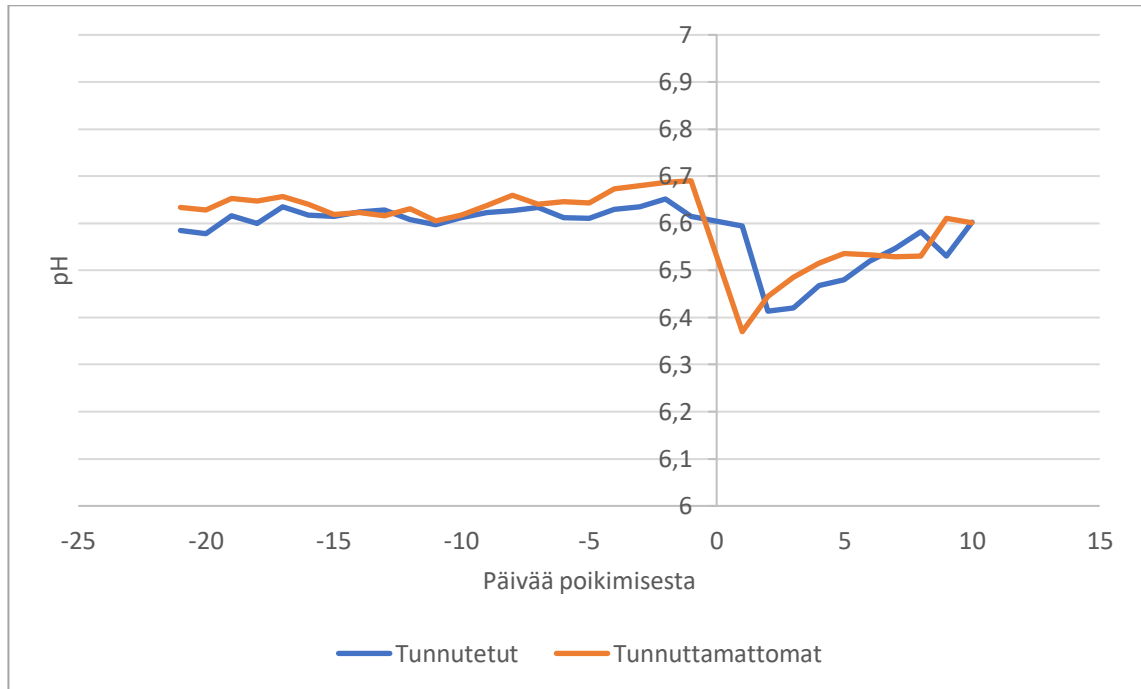
	Tunnutettavat	Tunnuttamattomat	SEM	p-arvot		
				ruokinta	aika	ruokinta x aika
Keskimääräinen pH	6,50	6,52	0,040	0,72	0,12	0,02
Minimi pH	6,27	6,27	0,047	0,97	0,30	0,56
Maksimi pH	6,75	6,76	0,035	0,66	<0,001	<0,001
pH-vaihtelu (min-max)	0,43	0,43	0,029	0,74	0,48	0,31
pH <6, min/pv	0,83	0,80	0,303	0,92		
pH <6,3, min/pv	198	250	74,9	0,52		
Keskimääräinen lämpötila, °C	39,14	39,05	0,068	0,03	0,17	0,48
Maksimilämpötila, °C	39,91	39,86	0,085	0,26	<0,001	0,16
Lämpötila > 39,5 °C, min/pv	460	359	80,9	0,40		
Lämpötila > 40, °C, min/pv	1,71	1,08	0,298	0,17		

Ensimmäisten kymmenen päivän ajan poikimisesta tunnutettavien ryhmä söi vähemmän tuore- ($p = 0,03$) ja kuiva-ainekiloja ($p = 0,02$) kuin tunnuttamattomat (Taulukko 7). Väki-rehun ($p = 0,19$) tai säilörehun ($p = 0,45$) kuiva-ainesyönnissä ei ollut eroa ryhmien välillä, mutta tunnutettavat söivät molempia numeroarvollaisesti vähemmän kuin tunnuttamattomat. Tunnutettavien ryhmä käytti vähemmän aikaa päivässä syöntiin ($p = 0,02$) ja söi suun-

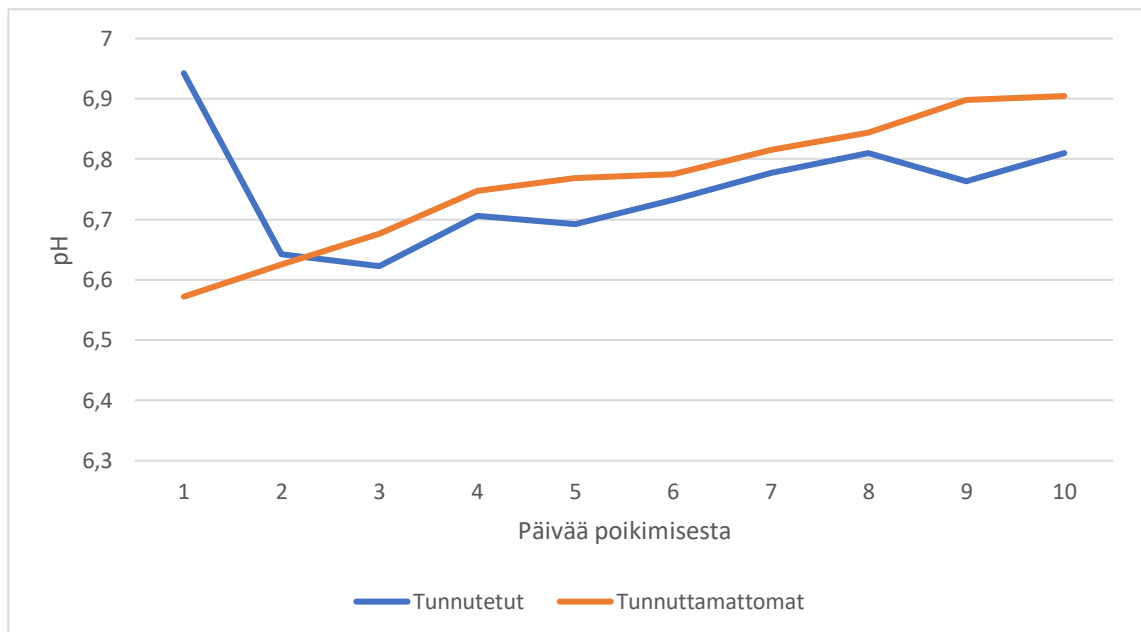
taa-antavasti nopeammin tuorekiloja kuin tunnuttamattomat lehmät ($p=0,09$). Kuiva-ainekiloissa mitattuna syöntinopeudessa ei ollut eroa ryhmien välillä ($p=0,14$). Ruokinnalla ei ollut vaikutusta syöntijaksojen lukumäärään, syöntijakson keston tai syöntimäärään jaksolla. Lehmien kuiva-ainesyönti nousi ensimmäisten kymmenen päivän aikana poikimisen jälkeen ($<0,001$), mutta tuorekilojen syönti ei muuttunut merkitsevästi ($p=0,44$). Ensimmäisten päivien ajan poikimisen jälkeen syötiin käytetty aika kasvoi ($p=0,03$). Lehmien kuiva-ainesyöntinopeus ei muuttunut ($p=0,72$), mutta tuoresyöntinopeus nopeutui ja oli nopeimmillaan heti poikimista seuraavana päivänä ennen kuin laski poikimista edeltävälle tasolle ($p<0,001$). Samankaltainen muutos tapahtui syöntijaksojen lukumäärässä ($p<0,001$). Syöntijaksojen kesto ($p=0,002$) sekä syöntimäärä jaksolla ($p=0,008$) alkoivat nousta nopeasti neljä päivää poikimisen jälkeen. Ajalla ja ruokinnalla oli yhdysvaikutus vain tuoresyöntinopeudessa ($p=0,01$). Ensimmäisenä päivänä poikimisesta ero tunnutettujen ja tunnuttamattomien välillä oli suurempi ja ero pieneni sen jälkeen. Tunnutetut söivät kuitenkin jokaisena päivänä nopeammin kuin tunnuttamattomat. Ensimmäisten kymmenen päivän ajan poikimisesta koeruokinnalla tai päivällä ei ollut merkitsevää vaikutusta lehmien märehittämiseen käyttämään aikaan.

Taulukko 7. Märehittämisen ja syöntikäyttäytyminen päiväkeskiarvoina 1-10 päivää poikimisen jälkeen.

	Tunnutettavat	Tunnuttamattomat	SEM	p-arvot		
				ruokinta	aika	ruokinta x aika
Syönti						
Syönti, kg ka/pv	15,0	16,3	0,456	0,02	<0,001	0,25
Syönti, kg tuore/pv	41,2	44,5	2,42	0,03	0,44	0,52
Väkirehun syönti, kg ka/pv	5,75	6,47	0,389	0,19	<0,001	0,17
Säilörehun syönti, kg ka/pv	9,32	9,72	0,554	0,45	0,78	0,36
Syöntiaika, min/pv	170	205	15,3	0,02	0,03	0,61
Syöntinopeus, kg tuore/min	0,25	0,22	0,018	0,09	<0,001	0,01
Syöntinopeus, kg ka/min	0,09	0,08	0,007	0,14	0,72	0,67
Jaksojen lkm/pv	20,9	22,3	1,79			
Jaksojen lkm/pv, log	2,97	3,06	0,096	0,54	<0,001	0,17
Jakson kesto, min	4,70	5,78	1,090			
Jakson kesto, min, log	1,40	1,57	0,176	0,34	0,002	0,93
Syönti/jakso, kg/jakso	1,12	1,30	0,274			
Syönti/jakso, kg/jakso, log	-0,01	0,02	0,213	0,92	0,01	0,89
Märehittämisen						
Märehittämisen, min/pv	400	453	25,5	0,13	0,15	0,80



Kuva 5. Verkkomahan keskimääräinen pH -21-10 päivää poikimisesta.



Kuva 6. Päivän ylin pH-arvo 1-10 päivää poikimisen jälkeen.

Ruokinnalla ei ollut vaikutusta verkkomahan keskimääräiseen pH-arvoon tai pH:n miinimi- ja maksimiarvoon 1-8 viikkoa poikimisen jälkeen (Taulukko 8). Tunnuttamattomilla lehmillä verkkomahan pH:n vuorokausittainen vaihtelu oli suuntaa antavasti suurempaa kuin tunnutetuilla ($p=0,07$). Verkkomahan keskimääräinen pH ($p<0,001$), mi-

nimi-pH ($p < 0,001$) ja maksimi-pH ($p < 0,001$) nousivat ensimmäiset kolme viikkoa poikimisesta tasolle, jolla ne säilyivät kokeen loppuun asti tai hieman laskivat. Verkkomahan pH:n vaihtelu oli suurimmillaan ensimmäiset kaksi viikkoa poikimisen jälkeen ja laski sen jälkeen hieman ennen kuin viikolla 7 nousi taas korkeammalle ($p < 0,03$). Ruokinnalla ja ajalla ei ollut yhdysvaikutusta pH:n arvoihin tai sen vaihteluun.

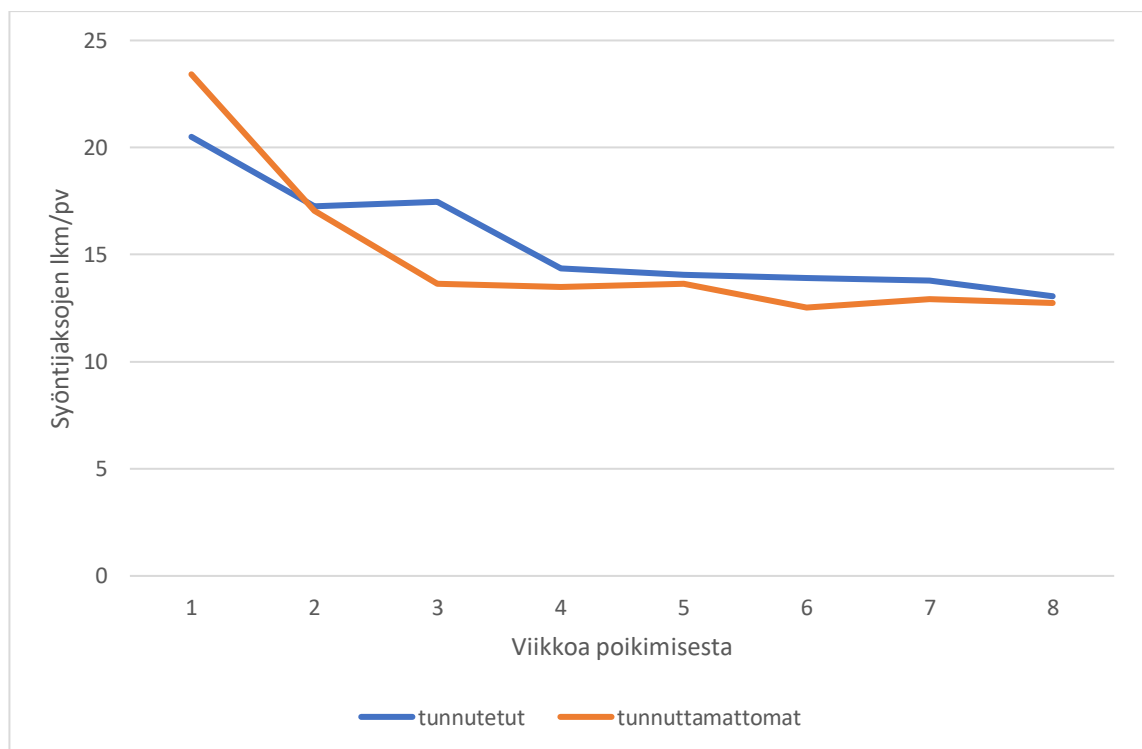
Taulukko 8. Verkkomahan pH ja lämpötila viikkokeskiarvoina 1-8 viikkoa poikimisen jälkeen.

	Tunnutettavat	Tunnuttamattomat	SEM	p-arvot		
				ruokinta	aika, vk	ruokinta x aika
Keskimääräinen pH	6,64	6,63	0,038	0,89	<0,001	0,72
Minimi pH	6,45	6,41	0,039	0,25	<0,001	0,68
Maksimi pH	6,82	6,84	0,040	0,66	<0,001	0,26
pH < 6, min/pv	0,47	0,77	0,189	0,22		
pH < 6,3, min/pv	46,8	83,6	18,68	0,14		
pH-vaihtelu (min-max)	0,37	0,42	0,025			
pH-vaihtelu (min-max), ln	-1,02	-0,91	0,058	0,07	0,03	0,14
Lämpötila >39,5 °C, min/pv	393	427	41,3	0,58		
Lämpötila >40 °C, min/pv	1,64	1,56	0,142	0,65		

Viikkoina 1-8 poikimisen jälkeen ruokinnalla ei ollut vaikutusta päivittäiseen syöntimäärään kuiva-aineena tai tuoreena, syöntijaksojen lukumäärään, syöntijaksojen keston tai syöntimäärään jaksolla (Taulukko 9). Tunnutettavat lehmät käyttivät vähemmän aikaa syöntiin ($p=0,01$) ja söivät suuntaa-antavasti nopeammin tuorekiloja ($p=0,08$). Kuiva-ainekiloissa mitattuna ryhmien välillä ei ollut eroa syöntinopeudessa ($p=0,11$). Tuore- ja kuiva-ainesyönti kasvoivat tasaisesti 1-8 viikkoa poikimisen jälkeen ($p < 0,001$). Syöntinopeus ($p=0,001$) kasvoi ja syöntiin käytetty aika ($p=0,04$) vuorokaudessa vähenivät etenkin ensimmäisten viikkojen aikana poikimisesta. Syöntijakson kesto ($p=0,003$) sekä syöntimäärä jaksolla ($p < 0,001$) olivat korkeimmillaan kaksi viikkoa poikimisesta ja laskivat sen jälkeen. Molemmilla ruokinnoilla syöntijaksojen lukumäärä oli ensimmäisellä viikolla poikimisen jälkeen korkeimmillaan ja laski sen jälkeen noin 15 syöntijakson verran ($p < 0,001$). Tunnuttamattomien ryhmässä syöntijaksot vähenivät nopeammin kuin tunnutettujen ryhmässä ($p=0,01$, Kuva 7). Poikimisen jälkeisenä aikana ei ruokinnalla tai ajalla ollut merkitsevää vaikutusta märehittämiseen käytettyyn aikaan.

Taulukko 9. Märehtiminen ja syöntikäyttäytyminen viikkokeskiarvoina 1-8 viikkoa poikimisen jälkeen.

	Tunnutettavat	Tunnuttamattomat	SEM	p-arvot		
				ruokinta	aika, vk	x aika
Syöti						
Syöti kg ka/pv	21,8	21,8	0,45	0,96	<0,001	0,79
Sr syöti kg ka/pv	10,9	10,9	0,35	0,81	<0,001	0,51
Vr syöti kg ka/pv	10,9	11,0	0,19	0,77	<0,001	0,78
Syöti kg tuore/pv	48,0	49,4	1,44	0,46	<0,001	0,19
Syöntiaika min/pv	158	180	5,8	0,01	0,04	0,39
Syöntinopeus	0,32	0,28	0,017	0,08	0,001	0,95
KA-syöntinopeus	0,14	0,13	0,006	0,11	<0,001	0,87
Jaksojen lkm/pv	15,6	14,9	1,22			
Jaksojen lkm/pv, log	2,70	2,66	0,070	0,64	<0,001	0,01
Jakson kesto, min	3,79	5,00	0,809			
Jakson kesto, min, log	1,23	1,44	0,172	0,33	0,003	0,31
Syöti/jakso, kg/jakso	3,65	3,76	0,371			
Syöti/jakso, kg/jakso, log	1,19	1,23	0,109	0,75	<0,001	0,26
Märehtiminen						
Märehtiminen, min/pv	412	466	29,0	0,20	0,37	0,37



Kuva 7. Syöntijaksojen lkm päivässä 1-8 viikkoa poikimisen jälkeen.

Kokeen eläinmäärä oli liian pieni eläinten terveysongelmien tilastolliseen analyysiin. Tunnettavista lehmistä yksi kuoli ja kaksi sai poikimahalvauksen. Kuolleella lehmällä todettiin puhjennut juoksutusmahahaava ja sen seurauksena yleistynyt vatsakalvontulehdus. Viidellä havaittiin syöntiin liittyviä ongelmia poikimisen jälkeen. Tunnuttamattomista lehmistä yksi sai poikimahalvauksen ja viidellä lehmällä havaittiin syöntiin liittyviä ongelmia poikimisen jälkeen. Molemmissa ryhmissä esiintyi vastaavat määrät erilaisia ongelmia.

8 TULOSTEN TARKASTELU

Molemmat käytössä olleet säilörehut olivat erittäin hyvin sulavia ja kohtuullisen hyvin säilyneitä. Ensimmäisen sadon säilörehussa säilönnällinen laatu oli joiltain osin riskialueella, sillä sen pH ja ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä olivat vähän tavoiteltua korkeammat. Kuiva-ainepitoisuus 262 g/kg ka kuitenkin sallii Moisio ja Heikosen (1992) mukaan hieman korkeamman pH-arvon. Haihtuvien rasvahappojen pitoisuudet olivat suositellulla tasolla, vaikka virhehäymistä osoittavaa voihippaa havaittiinkin. Toisen sadon säilörehussa oli hyvin korkea maitohappopitoisuus, minkä Moisio ja Heikonen (1992) toteavat alentavan rehun maittavuutta.

8.1 Verkkomahan pH

Duffieldin ym. (2004) mukaan pH-arvo vaihtelee pötsin eri osissa ja siksi mitattu arvo vaihtelee myös mittausmenetelmästä riippuen. Krause ym. (2005) havaitsivat, että verkkomahan pH oli keskimäärin 0,22 pH-yksikköä korkeampi kuin pötsin pH. Falkin ym. (2016) vertailun perusteella verkkomahaan päätyvän boluksen antama pH-arvo oli keskimäärin 0,24 pH-yksikköä korkeampi kuin pötsifistelin kautta, pötsin vatsanpuoleisesta osasta mittaavalla laitteella rekisteröity. Näiden kahden järjestelmän antamien pH-arvojen eron suuruus vaihteli liikaa, jotta he olisivat saaneet laskettua muuntokerrointa, jolla korjattaisiin boluksen antama pH-arvo vastaamaan pötsin pH-arvoa.

Zebeli ym. (2008) esittivät meta-analyysin pohjalta, että SARA:n riski on koholla, jos pötsin keskimääräinen pH on alle 6,16 ja pötsin pH on alle 5,8 yli 5,24 h/vrk. Yhdelläkään tämän kokeen lehmällä ei havaittu tällaisia alhaisen pH:n jaksoja, eli niillä ei ollut riskiä

sairastua SARA:an näillä kriteereillä arvioituna. Zebelin ym. (2008) data koostui tutkimuksista, joissa pH oli mitattu fistelin kautta pötsin vatsanpuoleisesta osasta. Tämän vuoksi verkkomahasta saatuja tuloksia ei voida suoraan verrata heidän tutkimuksessaan annettuihin raja-arvoihin.

Saton ym. (2012) mukaan pötsistä mitattu pH korreloi positiivisesti verkkomahan pH:n kanssa ja he esittivät SARA:n raja-arvoksi verkkomahasta mitattuna jopa pH:ta 6,3. Myös Neubauer ym. (2017) havaitsivat positiivisen korrelaation, mutta esittivät raja-arvoksi matalampaa pH:ta 6,0. Jos saatuja verkkomahan pH-tuloksia arvioidaan pitämällä SARA:n riskinä aiemmin mainittua 5,24 h/vrk aikarajaa, mutta määritetään rajaksi pH 6,0, kuudella lehmällä oli yhtenä tai kahtena päivänä kohonnut SARA-riski. Jos rajaksi asetetaan tiukempi pH 6,3, lisääntyy myös riskipäivien lukumäärä siten, että 13 lehmällä olisi ollut SARA-riski. Tilastollisesti ruokintaryhmien välillä ei ollut eroa näiden riskipäivien määrän osalta eli kumpikaan ruokinnoista ei erityisesti altistanut lehmiä SARA:lle. Keskimääräinen pH oli kaikilla koelehmillä matalimmillaan muutaman päivän poikimisen jälkeen, jonka jälkeen se alkoi nousta. Tästä johtuen SARA:n riskiraja myös alitettiin pääsääntöisesti ensimmäisten kymmenen päivän aikana. Muutamien lehmien verkkomahan pH pysyi koko ajan riskirajan yläpuolella, mutta osalla riskipäiviä oli lähes kymmenen, mikä kertoo suuresta pH:n vaihtelusta lehmien välillä. Lehmien väliset erot herkkyydessä saada SARA on havaittu monissa tutkimuksissa aiemmin (Mohammed ym. 2012, Humer ym. 2015, Schmitz ym. 2018). Lehmien yksilölliset erot pH-arvon vaihtelussa hankaloittavat SARA:an liittyvää tutkimusta sekä sopivien raja-arvojen asettamista.

Humer ym. (2015) tutkivat verkkomahan pH:n ja lämpötilan muutoksia lehmillä, joiden herkkyyttä saada SARA arvioitiin koedatasta jälkikäteen Zebelin ym. (2008) esittämällä kriteereillä. Kaikki lehmät saivat samankaltaisen tunnusruokinnan, mutta SARA:lle herkkien lehmien keskimääräinen pötsin pH alkoi laskea kolme päivää poikimisen jälkeen huomattavasti alhaisemmaksi kuin SARA:a sietävien lehmien. Huomionarvoista on, että heidän tutkimuksessaan käytössä oli saman valmistajan bolus kuin tässä kokeessa, mutta silti he havaitsivat SARA:lle herkkiä lehmiä, joiden verkkomahan pH oli alle 5,8 yli 5,24 h/vrk. Heidän kokeessaan lehmien kuiva-ainesyönti 1-8 päivää poikimisen jälkeen oli paljon pienempi kuin tässä kokeessa 1-10 päivää poikimisen jälkeen (10,0-11,5 kg ka/pv vs. 15,0-16,3 kg ka/pv). Lisäksi lehmille ruokittiin yhtenä komponenttina maisisäilörehua, jolloin dieetin NDF-pitoisuus oli hieman matalampi (366-401 vs. 413-422 g/kg ka) ja NFC-pitoisuus samalla tasolla (322-352 vs. 344-359 g/kg ka) tämän kokeen

dieetin kanssa. Pienempi NDF-saanti poikimisen jälkeen verrattuna tähän tutkimukseen saattoi aiheuttaa suuremman ruokinnallisen riskin SARA:lle heidän kokeessaan. Humerin ym. (2015) tutkimuksessa ei kuitenkaan havaittu NDF-saannin ja pH:n välistä korrelaatiota, lisäksi kuiva-ainesyönnin ja pH:n tai NFC-saannin ja pH:n välillä oli melko heikko korrelaatio (-0,19 ja -0,25).

Humerin ym. (2015) tutkimuksessa lehmillä ei havaittu vastaavaa pH:n alentumista heti poikimisen yhteydessä kuin tässä kokeessa. SARA:a sietävillä pH oli tasaisempi, ja SARA:lle herkillä lehmillä pH laski poikimisesta aina kuudenteen päivään poikimisesta asti. Tässä kokeessa jokaisella lehmällä pH-käyrä muuttui hyvin yksilöllisesti, eikä kaikilla ollut kovin suurta pudotusta pH-arvossa. Keskimääräinen pH alkoi laskea kaksi päivää ennen poikimista ja saavutti alimman arvonsa 2 päivää poikimisen jälkeen, jolloin pH oli noin 0,25 yksikköä matalampi kuin lähtötilanteessa. Tämän jälkeen pH alkoi tasaisesti nousta kohti poikimista edeltänyttä tasoa. Verkkomahan pH:n laskua edelsi syötimäärän putoaminen ennen poikimista. Syönnin vähentyessä syljeneritys vähenee, mikä heikentää sen puskuroivaa vaikutusta. Syönti alkoi lisääntyä poikimisen jälkeen ja samaan aikaan pH oli matalimmillaan muutamana päivänä poikimisen jälkeen. Samalla kun syönti poikimisen jälkeen alkoi taas lisääntyä, lisääntyi myös väkirehun osuus dieetissä, jolloin myös pötsifermentaatio ja VFA:n tuotanto pötsissä alkoi lisääntyä. Verkkomahan pH kuitenkin alkoi palautua korkeammaksi syönnin vielä kasvaessa. Kuiva-ainesyönnin lisääntyessä poikimisen jälkeen syljeneritys lisääntyy (Cassida ja Stokes 1986). Tässä kokeessa kuiva-ainesyönnin lisääntyminen pian poikimisen jälkeen johtui käytännössä väkirehun syönnin lisääntymisestä, minkä vuoksi pH:n nousu ei ollut odotettua. Schmitzin ym. (2018) tutkimuksessa pötsin keskimääräinen pH oli poikimisen jälkeen merkittävästi alhaisempi verrattuna poikimista edeltävään aikaan (6,45 vs. 6,08). Kokeessa käytettiin pötsin vatsanpuoleiseen pussiin sijoitettua mittausanturia, jolloin saatu tulos kuvaa pötsin pH:ta.

Koeruokinnalla ei ollut vaikutusta lehmien verkkomahan keskimääräiseen pH-arvoon tai sen minimi- tai maksimiarvoon ennen poikimista tai poikimisen jälkeen. Joillakin tunnutetuilla lehmillä pH-arvon putoaminen poikimisen yhteydessä alkoi vasta ensimmäisenä päivänä poikimisen jälkeen. Ruokinnalla ja ajalla havaittiin yhdysvaikutus keskimääräisessä sekä maksimi-pH-arvossa, koska tunnutetuilla pH oli vielä ensimmäisenä päivänä korkeammalla kuin tunnuttamattomilla. Lehmien terveydentilasta kertovat muistiinpanot eivät anna selitystä, miksi tunnutettujen maksimi-pH on aluksi niin paljon korkeampi, ja

miksi sen jälkeen maksimi pysytteli tunnuttamattomien maksimia alempana. Niillä kolmella lehmällä, jotka saivat poikimahalvauksen, oli suurin numeraalinen pudotus pH:ssa poikimisen yhteydessä. Päivittäinen pH:n vaihtelu oli suuntaa-antavasti suurempi tunnuttamattomilla, mutta 0,01 yksikön ero 10 päivää poikimisesta ja 0,05 yksikön ero koko poikimisen jälkeisenä aikana tarkasteltuna on niin vähäinen, ettei sillä ole käytännössä merkitystä.

SARA:n tarkka määrittäminen on vaikeaa, koska sillä ei ole selviä ja yhtenäisiä oireita. Päivän keskimääräisiin pH-arvoihin tulee suhtautua varauksella, sillä esimerkiksi Villot ym. (2018) havaitsi monia SARA:an viittaavia merkkejä SARA:a aiheuttavalle ruokinnalle altistetuilla lehmillä, vaikka päivän keskimääräisessä pH:ssa ei eroja havaittu. He esittivät, että yksittäisten raja-arvojen ja ajanjaksojen sijaan tulisi luoda jokaisen lehmän kohdalla suhteellinen raja SARA:lle. Suhteellinen indikaattori ottaisi huomioon eläimen yksilöllisyyden, mittalaitteen poikkeaman sekä kohinan datassa. Lehmien yksilöllistä vaihtelua korostetaan SARA:an liittyvissä tutkimuksissa paljon, ja Dirksen ym. (1997) esittävät, että pötsipapillien kehityksessä olisi lehmien välillä sellaisia eroja, jotka vaikuttaisivat myös VFA:n imeytymiseen. Tämän vuoksi edellä mainitun suhteellisen pH-raja-arvon kehittäminen voisi tulevaisuudessa helpottaa SARA:sta kärsivien lehmien tunnistamista datasta. SARA:n luotettavan tunnistamisen lisäksi tarvitaan enemmän tutkimusta siitä, voidaanko etukäteen ennakoida, mikä lehmistä on herkempi SARA:lle. Jos tiedettäisiin etukäteen SARA:lle herkeimmät yksilöt, voitaisiin niiden hoitoon kiinnittää enemmän huomiota ja ehkä löytää keinot ehkäistä pötsin pH:n liiallinen hapaneminen. Gao ja Oba (2015) ehdottivat, että loppulypsykauden maidon typpi- ja rasvapitoisuuden avulla voitaisiin tunnistaa SARA:lle herkeimmät yksilöt.

8.2 Verkkomahan lämpötila

Alzahalin ym. (2008) mukaan pötsin korkea lämpötila ja alhainen pH ovat yhteydessä toisiinsa, sillä lisääntyneen pötsifermentaation tuloksena syntyy enemmän VFA:ta ja lämpöä. He määrittivät fistelin kautta tehdyillä mittauksilla, että ruokinnalla aiheutetusta SARA:sta kärsivien lehmien pötsin pH oli pidempään alle 5,6 ja lämpötila yli 39,2 astetta kuin kontrolliryhmällä. Alzahalin ym. (2009) mukaan aika, jonka pötsin lämpötila on yli 39,2 astetta ennustaa sitä, kuinka pitkän ajan pötsin pH on alle 6,0. Toisin kuin heidän

tutkimuksessaan, tässä kokeessa bolus asetettiin suun kautta, joten se päätyi verkkomahaan ja tämän vuoksi näitä lämpötiloja ei voi suoraan verrata edellä mainittuihin raja-arvoihin. Myöhemmässä tutkimuksessa Alzahal ym. (2011) havaitsivat, että bolus kulkeutuu verkkomahaan, vaikka se vietäisiin pötsiin fistelin kautta. Heidän mukaansa boluksella voidaan havaita ruokinnalla aiheutettuun SARA:an liittyvä pötsin lämpötilan nousu, ja riskiraja-arvona voitaisiin pitää 38,8 astetta. Boluksella ei heidän mukaansa voida havaita SARA:n aiheuttamaa lämpötilan kohoamista, jos esimerkiksi tulehduksen vuoksi lehmän lämpötila on vielä enemmän koholla. Heidän tutkimuksessaan oli tuotokauden keskivaiheilla olevia lehmiä, ja boluksella mitatut lämpötilakeskiarvot olivat tässä kokeessa havaittuja alhaisempia. Voidaan olettaa, että lehmän fysiologinen tila on erilainen poikimisen aikaan kuin myöhemmin tuotokauden aikana, ja siksi näitä annettuja arvoja ei suoraan voida hyödyntää tämän tutkimuksen tuloksia tarkasteltaessa. Humerin ym. (2015) tutkimuksessa, jossa käytössä oli bolus ja koe oli poikimisen läheisyydessä, havaittiin vain vähäinen korrelaatio pH:n ja lämpötilan välillä.

Lehmän normaali ruumiinlämpötila vaihtelee välillä 38,0-39,2°C (Divers ja Peek 2018). Metznerin ym. (2014) tutkimuksessa pidettiin 39,5 astetta kuumeen rajana peräsuolesta mitattuna. Pötsin lämpötila vaihtelee voimakkaammin kuin peräsuolesta mitattu lämpötila, sillä lämpötila on mikrobifermentaation vuoksi keskimäärin korkeampi kuin peräsuolella, mutta esimerkiksi veden juonti laskee lämpötilaa pötsissä hetkellisesti (Bewley ym. 2008). Boluksella verkkomahasta mitattu lämpötila korreloi (0,43-0,65) kuitenkin lehmän peräsuolesta mitatun ruumiinlämpötilan kanssa, ja on keskimäärin 0,4-0,45 astetta korkeampi (Bewley ym. 2008, Ammer ym. 2016). Suuremmasta vaihtelusta huolimatta verkkomahasta automaattisesti mitattu lämpötila antaa luultavasti tarkemman arvon kuin ihmisen suorittama lämpötilan mittausta, joka voi vaihdella mittaajasta riippuen ja aiheuttaa eläimille stressiä (Bewley ym. 2008, Ammer ym. 2016).

Tässä kokeessa käytettiin samaa raja-arvoa kuin Humerin ym. (2015) tutkimuksessa, sillä aiemmin viitattujen tutkimusten perusteella se olisi oikeampi raja kuvaamaan kohonnutta ruumiinlämpötilaa. Lehmien verkkomahan lämpötila oli keskimäärin lähes 1000 minuuttia vuorokaudessa yli 39,0 astetta, minkä vuoksi alemman raja-arvon käyttäminen ei ollut mielekäästä. Humer ym. (2015) käyttivät 39,5 astetta raja-arvoja, sekä saman valmistajan bolusta kuin tässä tutkimuksessa. Tämän tutkimuksen lehmillä verkkomahan lämpötila, aika yli 39,5 asteessa ja lämpötilan kehitys suhteessa poikimäpäivään oli ennen ja jälkeen poikimisen hyvin samankaltainen kuin Humerin ym. (2015) tutkimuksessa. Korkeampi

lämpötila ennen poikimista on normaalia ja johtuu muun muassa progesteronin erityksestä, joka vähenee poikimisen jälkeen (Wrenn ym. 1961).

Humerin ym. (2015) tutkimuksessa SARA-herkkyyden ei havaittu vaikuttavan verkkomahan lämpötilaan. Tässä kokeessa havaittiin ruokinnan vaikutus verkkomahan keskilämpötilaan vain 1-10 päivää poikimisen jälkeen, jolloin verkkomahan lämpötila tunnutetuilla oli keskimäärin 39,14 ja tunnuttamattomilla 39,05 astetta. Tunnuttamattomien verkkomaha oli yli 39,5 asteessa keskimäärin noin 100 minuuttia vähemmän aikaa kuin tunnutetuilla. Ero ei ollut kuitenkaan edes suuntaa-antavan merkitsevä, mikä viittaa suureen lämpötilan vaihteluun eläinten välillä. Humerin ym. (2015) tutkimuksessa kaikki lehmät saivat tunnutusruokinnan ja verkkomahan lämpötila putosi poikimisen jälkeen 39,04 asteeseen. Verkkomahan lämpötilan perusteella tunnuttaminen tai tunnuttamatta jättäminen ei ilmeisesti vaikuta SARA-herkkyyteen. Lisäksi on epävarmaa, voiko boluksella mitattua verkkomahan lämpötilaa ylipäätään käyttää apuna tutkittaessa SARA:a. Navetan sisälämpötilaa ei mitattu, joten sen vaikutusta lehmien ruumiinlämpötilaan tässä kokeessa ei tiedetä.

8.3 Syöntikäyttäytyminen

Erillisruokinta ennen poikimista ja ensimmäisten 10 päivän ajan poikimisen jälkeen aiheutti haasteita tulosten tulkinnalle syöntikäyttäytymisen osalta. Koska rehukuppi mittaa vain syötiin käytettyä aikaa ja syödyn rehun painoa, ei se osaa erottaa, syökö eläin sillä hetkellä väkirehua vai säilörehua. Rehujätteiden käsin kirjauksen avulla voitiin laskea lehmien vuorokauden aikana syömät väkirehu- ja säilörehumäärät sekä vastaavat kuiva-ainesyönnit. Säilö- ja väkirehujen kuiva-ainepitoisuutta ei kuitenkaan voitu yksikäsitteisesti yhdistää yksittäisten syöntijaksojen syöntimääriin. Jaksojen syöntimäärät ja -nopeudet on siis tämän vuoksi ilmoitettu tuorepainossa.

8.3.1 Ennen poikimista

Ennen poikimista tunnutettavat söivät enemmän kuiva-ainekiloja kuin tunnuttamattomat, koska ne saivat vapaasti tarjotun säilörehun lisänä väkirehua. Tuoresyönneissä ei ollut eroa, mikä johtuu väkirehun korkeasta kuiva-ainepitoisuudesta verrattuna säilörehuun.

Säilörehun syönnissä ei ollut merkitsevää eroa, mutta tunnutetut söivät 0,9 ka kg/pv vähemmän kuin tunnuttamattomat. Tunnutettavat söivät ennen poikimista keskimäärin 2,3 kg ka väkirehua eli korvaussuhde oli 0,39 kg ka säilörehua / kg ka väkirehua. Tuotoskauden aikana korvaussuhteeksi on mitattu 0,40-0,53 (Faverdin ym. 1991, Rinne 2000). Viimeisten kolmen päivän aikana ennen poikimista tunnuttamattomien kuiva-ainesyönti putosi 28 %. Kuiva-ainesyönnin on havaittu putoavan noin 30 % viimeisen viikon aikana ennen poikimista (Grant ja Albright 1995). Tässä kokeessa syöntimäärän vähentyessä myös syöntiin käytetty aika pieneni. Tunnuttamattomien lehmien syöntimäärä putosi enemmän kuin tunnutettujen, sillä tunnutettujen syönti lisääntyi hieman päivää ennen poikimista. Vastaavasti tunnutettujen verkkomahan pH:ssa mitattiin yllättävän korkeita arvoja samana päivänä.

Tunnutettavat käyttivät päivässä 50 min (22 %) vähemmän aikaa syöntiin kuin tunnuttamattomat. Samalla tunnutettujen syöntinopeus oli 40 % nopeampi kuiva-ainekiloina mitattuna kuin tunnuttamattomien. Ero johtuu ainakin osittain siitä, että lehmät syövät kuiva-ainekiloissa mitattuna väkirehua nopeammin kuin säilörehua, sillä säilörehulla on pienempi kuiva-ainepitoisuus kuin väkirehulla (Maekawa ym. 2002, Jiang ym. 2017). Tuorekiloina mitattuna tunnutettujen syönti oli 32 % nopeampaa tunnuttamattomien. Maekawan ym. (2002) mukaan tuorekiloina lehmät syövät väkirehua ja säilörehua yhtä nopeasti, joten tämän kokeen ero tuoresyöntinopeudessa ei välttämättä johdu ruokinnasta. Kuiva-aineen syöntinopeudella oli suuntaa antava yhdysvaikutus ruokinnan kanssa siten, että tunnutettujen syöntinopeus vaihteli enemmän ja nopeutui hieman. Tunnutettujen kuiva-ainesyönnin nopeutuminen johtui luultavasti väkirehuannoksen nostosta poikimisen lähestyessä.

Syöntijaksojen lukumäärä, kesto tai syöntimäärä jaksolla ei eronnut ryhmien välillä eli tunnutusruokinta ei pääsääntöisesti vaikuttanut siihen, miten lehmä jaksotti syömisensä. Tunnutettujen lehmien syöntijaksojen kesto lyheni suuntaa-antavasti poikimisen lähestyessä, mutta tunnuttamattomilla vastaavaa ei havaittu. Jaksojen keston lyheneminen voi olla yhteydessä tunnutettujen lyhyempään päivittäiseen syöntiaikaan ja nopeampaan syöntiin.

8.3.2 Poikimisen jälkeen

Ensimmäisten kymmenen päivän ajan poikimisesta tunnuttamattomat söivät enemmän tuore- ja kuiva-ainekiloja. Tunnuttamattomien säilö- ja väkirehun syönti oli suurempi kuin tunnutettujen, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Kuiva-ainesyönti lisääntyi ensimmäisten kymmenen päivän aikana lehmien kasvavasta energiantarpeesta johtuen. Lehmien syönnin kasvu ensimmäisten kymmenen päivän aikana johtui pääosin väkirehümäärän nostosta, eikä säilörehun syönnin lisääntymisestä. Tuotoskauden alussa väkirehun nopea lisääminen kasvattaa lehmien kuiva-ainesyöntiä (Kokkonen ym. 2004). Syöntiaika lisääntyi kuiva-ainesyönnin lisääntyessä. Kokeessa käytetty erillisruokinta lisäsi pH:n vaihteluiden riskiä (Maekawa ym. 2002) ja poikimisen jälkeen väkirehutasoa nostettiin nopeasti. Coonin ym. (2019) mukaan SARA:lle altistava ruokinta tuotoskauden alussa saa lehmät lajittelemaan seosrehusta pidempiä ja kuitupitoisempia partikkeleita. Tämän kokeen tunnutettavat jättivät enemmän väkirehua syömättä ja niiden kuiva-aineen syönti oli alhaisempi kuin tunnuttamattomilla sen vuoksi. Koejärjestelyillä pyrittiin luomaan suurempi riski SARA:lle, mutta ruokinnalla ei ollut vaikutusta verkkomahan happamoitumiseen. Voi kuitenkin olla, että tunnutettavilla oli suurempi tarve muuttaa syöntiään pH:n tasapainottamiseksi.

Tunnutettavat söivät poikimisen jälkeisinä päivinä edelleen lyhyemmän ajan päivästä kuin tunnuttamattomat ja söivät suuntaa-antavasti nopeammin tuorekiloja. Maekawan ym. (2002) tutkimuksessa ei havaittu eroa säilörehun ja väkirehun syöntinopeudessa. Tämän perusteella on mahdollista, että tunnutetut lehmät sattumalta olivat nopeammin syöviä lehmiä kuin tunnuttamattomat. Kun aikaa kului enemmän poikimisesta, ei ryhmien välillä enää ollut eroa kuiva-ainekilojen syöntinopeudessa. Tuorekilojen syöntinopeudessa ero pieneni myös, mutta säilyi suuntaa-antavasti merkitsevä. Tuorekilojen syöntinopeus oli heti ensimmäisenä päivänä nopea, mutta laski sitten poikimista edeltävälle tasolle. Nopea syönti ensimmäisenä päivänä voisi johtua eläimen tarpeesta kompensoida poikimapäivän alhaista syöntiä ja sen myötä syntyynyttä energiavajetta.

Ensimmäisten 10 päivän aikana poikimisesta ruokinnalla ei ollut vaikutusta siihen, miten lehmä jaksotti syömisensä. Poikimisen jälkeen syöntijaksojen määrä oli suurempi kuin ennen poikimista, kuten Huzzeyn ym. (2005) tutkimuksessa. Kokonaissyönnin alkaessa lisääntyä ja tuoresyöntinopeuden hidastuessa poikimisen jälkeen lehmät alkoivat syödä

suurempia annoksia kerralla, minkä vuoksi on loogista, että syöntijaksot alkoivat pidentyä ja syöntimäärä jaksolla lisääntyä. Tämän vuoksi myös syöntijaksojen lukumäärä alkoi vähentyä.

Viikkokeskiarvoina laskettuna 1-8 vko poikimisen jälkeen ruokinnalla ei ollut vaikutusta lehmien syöntimääriin eli alkuvaiheessa havaittu tunnuttamattomien suurempi rehun syönti tasoittui ajan kuluessa samalle tasolle tunnutettujen kanssa. Myöskään yhdysvaikutuksia ajan kanssa ei ollut. Poikimisen jälkeen erot syöntiajassa ja syöntinopeudessa pysyivät tilastollisesti merkitsevinä vähintään suuntaa-antavasti, vaikka lukumäärällisesti erot lievenivätkin. Eläimen tapa syödä saattoi siis säilyä poikimisen jälkeenkin, vaikka ruokinnat eivät enää eronneet ja kymmenen päivän jälkeen siirryttiin seosrehulle. Toisaalta Huzzey ym. (2005) eivät havainneet yhteyttä poikimista edeltävän ja poikimisen jälkeisen syöntiajan välillä. Syöntidataa ei ole tässä kokeessa ennen tunnutusruokinnan aloittamista, joten ei voida tietää, sattuiiko tunnutettujen ryhmään vain monta luonnostaan nopeasti syövää lehmää, vai säilyikö tapa syödä myös poikimisen jälkeen ruokinnan vuoksi.

Tuore- ja kuiva-ainesyönti kasvoivat poikimisen jälkeisinä viikkoina, kuten muissakin tutkimuksissa on todettu (Schmitz ym. 2018). Syöntinopeus kasvoi ja syötiin käytetty aika vähenivät viikkojen kuluessa. Schmitzin ym. (2018) kokeen lehmien syötiin käytämä aika päivässä poikimisen jälkeen oli suurempi kuin tämän kokeen tunnutettavien lehmien (194-204 vs. 158 min/vrk). Heidän tutkimuksessaan ruokinnassa oli mukana olkea, mikä saattoi lisätä syöntiaikaa verrattuna tähän tutkimukseen. Toisaalta lehmät siirtyivät erillisruokinnasta seosrehulle ja parresta pihattoon 10 päivää poikimisesta. Syöntiajan väheneminen saattoi johtua siitä, että pihattoon siirtymisen jälkeen lehmät saivat osan väkirehustaan robotilta, minkä vuoksi rehukuppien antamasta syöntiajasta puuttuu osa väkirehun syönnistä. Normaalisti lehmät käyttävät seosrehun syötiin enemmän aikaa kuin erillisruokittuna, eikä seosrehun väkirehupitoisuudella ei ole vaikutusta syöntinopeuteen (Maekawa ym. 2002). Robottiruokinnasta voi johtua syöntijaksojen lukumäärässä, syöntijaksojen kestossa ja syöntimäärässä jaksolla havaittu väheneminen kolme viikkoa poikimisen jälkeen. Syöntijaksot olivat enimmillään ensimmäisellä viikolla poikimisen jälkeen, mutta tunnuttamattomilla syöntijaksot vähenivät nopeammin kuin tunnutetuilla. Tunnutetut ja tunnuttamattomat siirrettiin pihattoon samaan aikaan, joten selvää selitystä erolle ei ole.

Syönti on lehmille käyttäytymistarve, minkä vuoksi lyhyempi syöntiaika (1-2 h/vrk vs. 5,5 h/vrk) johti Lindströmin ja Redbon (2000) tutkimuksessa lisääntyneeseen stereotyyppiseen käytökseen. Tässä kokeessa syöntiajat olivat lyhimpiä viikkokeskiarvoina 1-8 viikkoa poikimisen jälkeen. Erityisesti tunnutettavien ryhmän syöntiaika oli alhainen (158 min/pv), mutta tunnuttamattomien syöntiaika ei sekään ollut kovin korkea (180 min/pv). Tässä kokeessa eläinten stereotyyppistä käytöstä ei mitattu, mutta tunnutettujen lyhyempi syöntiaika voi olla jo riittämätön lehmän käyttäytymistarpeiden kannalta.

8.4 Märehtiminen

Märehtimisaikojen keräämisen teknisten ongelmien ja pannaan rajallisen muistin vuoksi jouduttiin datasta jättämään jonkin verran havaintoja pois. Nämä osuivat etenkin ajalle, jolloin lehmät olivat parressa ja märehtimiset kerättiin kerran päivässä lukijalla. Liian löysäksi jäänyt panta tai anturin liikkuminen väärään kohtaan saattavat aiheuttaa virheitä pannaan mittaamiin märehtimisaikoihin. Schirmannin ym. (2009) mukaan panta on silti visuaaliseen havainnointiin verrattaessa riittävän tarkka menetelmä mittaamaan märehtimistä.

Tässä kokeessa märehtimisajat ennen poikimista olivat 395 min/pv ja 465 min/pv ja poikimisen jälkeen 412 min/pv ja 466 min/pv. Pyhälammin (2015) maisterintutkielmassa pelkästään säilörehua ummessaolokaudella saaneiden lehmien märehtimisaika (10 pv tunnutuksella) oli 520 min/pv ennen poikimista. Myös poikimisen jälkeen saman ryhmän märehtimisaika (498 min/pv) oli selvästi pidempi kuin tässä kokeessa, jossa oli käytössä sulavammalla säilörehulla alhaisemmalla NDF-pitoisuudella. Toisaalta Kokkosen ym. (2015) mukaan ennen poikimista kuiva-aineen syöntimäärä vaikutti päivittäiseen märehtimisaikaan enemmän kuin dieetin NDF-pitoisuus, koska pelkästään säilörehua ummessaolokaudella saaneiden lehmien märehtimisaika oli pidempi kuin säilörehu-olkiseosta saaneiden. Siten märehtimisaikojen eroa kokeiden välillä ei voi selittää pelkästään säilörehun NDF-pitoisuudella. Orkolan (2011) maisterintutkielmassa märehtimisajat ennen poikimista ja poikimisen jälkeen vastasivat tämän kokeen aikoja. Erimerkkisellä pannalla Calamari ym. (2014) havaitsivat poikimisen jälkeisenä aikana keskimäärin 340-540 min/pv märehtimisaikoja, eli hieman laajemmalla vaihteluvälillä kuin tässä kokeessa.

Tunnettavien märehitimiseen käyttämä aika vuorokaudessa oli ennen poikimista jopa 70 min lyhyempi kuin tunnuttamattomien. Tunnettavien märehitisaika väheni selkeämmin poikimisen lähestyessä kuin tunnuttamattomien ja ajan ja ruokinnan yhdysvaikutus oli lähellä suuntaa-antavaa. Väkirehun osuuden lisääminen dieetissä vähentää lehmien märehitimiseen käyttämää aikaa (Maekawa ym. 2002) ja yhden kuiva-ainekilon märehitimiseen käytettyä aikaa (Jiang ym. 2017). Ero märehitisaajassa oli Maekawan ym. (2002) tutkimuksessa 96 minuuttia, kun verrattiin 40 % tai 60 % väkirehun osuutta seosrehussa. Kummassakaan tutkimuksessa ei kuitenkaan käytettyä niin pientä väkirehuprosenttia kuin tunnutusruokinnassa käytetään, mutta tämän kokeen perusteella jo tunnutusväkirehu vähentää märehitisaikaa. Tunnettavien märehitisaika väheni voimakkaammin poikimisen lähestyessä, kun väkirehutasoa nostettiin. Vähäisempi märehitminen ei kuitenkaan ilmeisesti johtanut niin merkittävään syljenerityksen vähenemiseen, että se olisi vaikuttanut pötsin puskurointikykyyn, koska ruokinnalla ei ollut vaikutusta pH-arvoon (Allen ym. 1997). Maekawan ym. (2002) mukaan seosrehun väkirehuprosentti tai erillisruokinta ei vaikuttanut lehmien päivittäiseen kokonaissyljeneritykseen. Heidän tutkimuksessaan lehmät saattoivat erittää vähemmän sylkeä syödessään ja enemmän sylkeä levätesään, kun ne saivat säilö- ja väkirehun erikseen tai seosrehua, jossa väkirehun osuus oli suuri (60%). Myös Jiang ym. (2017) havaitsivat saman ilmiön, että väkirehuprosenttia muuttamalla kokonaissyljeneritys ei muutu, mutta sen erityy syömisen ja levon aikana muuttuu.

Tämän kokeen tunnuttamattomien lehmien märehitisaika päivässä pysyi hyvin samansuuruisena läpi koejakson. Tunnutettujen lehmien märehitisaika ei noussut poikimisen jälkeenkään samalle tasolle kuin tunnuttamattomien, vaan ero poikimisen jälkeen säilyi keskimäärin 54 minuutissa. Ero ei kuitenkaan enää ollut merkitsevä. Tässä kokeessa ei havaittu vastaavaa voimakasta märehitimen laskua poikimisen aikaan kuin Soriani ym. (2012), Calamari ym. (2014) ja Schmitz ym. (2018) havaitsivat. Calamari ym. (2014) esittivät, että alhaisempi märehitisaika ensimmäisten kymmenen päivän aikana poikimisen jälkeen viittaa terveysongelmiin, eli märehitminen ei ala lisääntyä poikimisen jälkeen niin nopeasti kuin terveillä lehmillä.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Lehmien verkkomahan pH pysyi korkealla tasolla molemmilla ruokinnoilla, joten tunnus tai tunnuttamatta jättäminen ei altistanut lehmiä SARA:lle tässä kokeessa. Tunnutettujen lehmien verkkomahan lämpötila oli hieman korkeampi heti poikimisen jälkeen kuin tunnuttamattomien. Muissa tutkimuksissa on kuitenkin todettu, että SARA:n mahdollisesti aiheuttama lämpötilan kohoamista ei voi havaita, jos lehmällä on muista terveydelisistä syistä johtuen kohonnut lämpötila.

Tunnutettavat söivät kuiva-ainekiloja nopeammin ja käyttivät vähemmän aikaa syöntiin sekä ennen että jälkeen poikimisen. Ne myös söivät tunnuttamattomia vähemmän 1-10 päivää poikimisen jälkeen. Tunnutusruokinnan vuoksi lehmät saattoivat siis pyrkiä syöntiä vähentämällä tasapainottamaan pH:ta. Tunnutuksella on mahdollisesti vaikutusta lehmien syöntikäyttäytymiseen, mutta tulokset viittaavat myös yksilölliseen vaihteluun eläinten välillä. Tunnutus vähensi märehtimisaikaa erityisesti ennen poikimista. Aiemman tutkimuksen mukaan väkirehun määrällä ei ole vaikutusta päivän kokonaissyöntykseen. Toisaalta tunnutusvaiheessa väkirehuannokset eivät ole niin suuria, että niillä olisi voimakkaan happamoittavaa vaikutusta. Tästä johtuen märehtimisajan väheneminen ei johtanut voimakkaisiin pH:n vaihteluihin tässä kokeessa.

Lehmien välinen yksilöllinen vaihtelu vaikeuttaa SARA:n tutkimista ja sille sopivien määritelmien muodostamista. Tämän tutkimuksen perusteella ruokinnalla ei havaittu olevan suoria vaikutuksia verkkomahan pH-arvoon, mutta tunnutettujen lehmien kohonnut lämpötila, alhaisempi märehtiminen ja syönnin hitaampi kasvu poikimisen jälkeen voivat olla epäsuoria viitteitä ongelmista verkkomahan pH-tasapainossa. Jatkossa olisi tärkeää tutkia ja kehittää toimivia indikaattoreita, joiden avulla SARA:lle alttiit yksilöt löydetään helposti ja luotettavasti jo ennen poikimista, jotta juuri niiden herkimpien lehmien terveydentilaa voitaisiin seurata tarkemmin.

LÄHTEET

- Albright, J. 1993. Feeding behavior of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 76: 485–498.
- Allen, M. 1997. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *Journal of Dairy Science* 80: 1447-1462.
- Allen, M. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 83: 1598-1624.
- Allen, M., Bradford, B. & Oba, M. 2009. The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. *Journal of Animal Science* 87: 3317-3334.
- Alzahal, O., Kebreab, E., France, J., Froetschel, M. & McBride, B. 2008. Ruminal temperature may aid in the detection of subacute ruminal acidosis. *Journal of Dairy Science* 91: 202-207.
- Alzahal, O., Steele, M., Valdes, E. & McBride, B. 2009. Technical note: The use of a telemetric system to continuously monitor ruminal temperature and to predict ruminal pH in cattle. *Journal of Dairy Science* 92: 5697-5701.
- Alzahal, O., Alzahal, H., Steele, M., van Schaik, M., Kyriazakis, I., Duffield, T. & McBride, B. 2011. The use of radiotelemetric ruminal bolus to detect body temperature changes in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 94: 3568-3574.
- Ammer, S., Lambertz, C. & Gauly, M. 2016. Comparison of different measuring methods for body temperature in lactating cows under different climatic conditions. *Journal of Dairy Research* 83: 165-172.
- Andersen, J., Sehested, J. & Ingvarsten, K. 1999. Effect of dry cow feeding strategy on rumen pH, concentration of volatile fatty acids and rumen epithelium development. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science* 49:149-155.
- Argyle, J. & Baldwin, R. 1988. Modeling of the rumen water kinetics and effects on rumen pH changes. *Journal of Dairy Science*. 71: 1178–1188.
- Aschenbach, J., Bilk, S., Tadesse, G., Stumpff, F. & Gäbel, G. 2009. Bicarbonate-dependent and bicarbonate-independent mechanisms contribute to nondiffusive apical

- uptake of acetate in the ruminal epithelium of sheep. *American Journal of Physiology – Gastrointestinal and Liver Physiology* 296: G1098-G1107.
- Bannink, A., France, J., Lopez, S., Gerrits, W., Kebreab, E., Tamminga, S. & Dijkstra, J. 2008. Modelling the implications of feeding strategy on rumen fermentation and functioning of the rumen wall. *Animal Feed Science and Technology* 143: 3–26.
- Bannink, A., Gerrits, W., France, J. & Dijkstra, J. 2012. Variation in rumen fermentation and the rumen wall during the transition period in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 172: 80–94.
- Barker, S.B. & Summerson, W.H. 1941. The colorimetric determination of lactic acid in biological materials. *The Journal of Biological Chemistry* 138: 537–554.
- Bewley, J., Einstein, M., Grott, M. & Schutz, M. 2008. Comparison of reticular and rectal core body temperatures in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 91: 4661-4672.
- Calamari, L., Soriani, N., Panella, G., Petrera, F., Minuti, A. & Trevisi, E. 2014. Rumination time around calving: An early signal to detect cows at greater risk of disease. *Journal of Dairy Science* 97: 3635-3647.
- Cassida, K. & Stokes, M. 1986. Eating and resting salivation in early lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 69: 1282–1292.
- Coon, R., Duffield, T. & DeVries, T. 2019. Short communication: Risk of subacute ruminal acidosis affects the feed sorting behavior and milk production of early lactation cows. *Journal of Dairy Science* 102: 652-659.
- Dado, R. & Allen, M. 1994. Variation in and relationships among feeding, chewing, and drinking variables for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 77: 132–144.
- Dann, H., Litherland, N., Underwood, J., Bionaz, M., D’Angelo, A., McFadden, J. & Drackley, J. 2006. Diets during far-off and close-up dry periods affect periparturient metabolism and lactation in multiparous cows. *Journal of Dairy Science* 89: 3653-3577.

- DeVries, T., Dohme, F. & Beauchemin, K. 2008. Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feed sorting. *Journal of Dairy Science* 91: 3958–3967.
- Dieho, K., Bannink, A., Geurts, I., Schonewille, J., Gort, G. & Dijkstra, J. 2016a. Morphological adaptation of rumen papillae during the dry period and early lactation as affected by rate of increase of concentrate allowance. *Journal of Dairy Science* 99: 2339–2352.
- Dieho, K., Dijkstra, J., Schonewille, J. & Bannink, A. 2016b. Changes in ruminal volatile fatty acid production and absorption rate during the dry period and early lactation as affected by rate of increase of concentrate allowance. *Journal of Dairy Science* 99: 5370-5384.
- Dieho, K., Dijkstra, J., Klop, G., Schonewille, J. & Bannink, A. 2017. The effect of supplemental concentrate fed during the dry period on morphological and functional aspects of rumen adaptation in dairy cattle during the dry period and early lactation. *Journal of Dairy Science* 100: 343-356.
- Dijkstra, J., Ellis, J., Kebreab, E., Strathe, A., López, S., France, J. & Bannink, A. 2012. Ruminal pH regulation and nutritional consequences of low pH. *Animal Feed Science and Technology* 172: 22-33.
- Dijkstra, J., Neal, H., Beaver, D. & France, J. 1992. Simulation of nutrient digestion, absorption and outflow in the rumen: model description. *Journal of Nutrition* 122: 2239–2256.
- Dirksen, G. 1985. The rumen acidosis complex—Recent knowledge and experiences (1): A review. *Tierärztliche Praxis* 13:501–512.
- Dirksen, G., Liebich, H. & Mayer, E. 1985. Adaptive changes of the ruminal mucosa and their functional and clinical significance. *The Bovine Practitioner* 20: 116-120.
- Dirksen, G., Dori, S., Arbel, A., Schwarz, M. & Liebich, H. 1997. The rumen mucosa – it's importance as a metabolic organ of the high producing dairy cow. *Israel Journal of Veterinary Medicine* 52: 73-79.

- Divers, T. & Peek, S. 2018. Rebhurn's diseases of dairy cattle. 3. painos. St. Louis, Missouri: Elsevier. 837 s.
- Duffield, T., Plaizier, J., Fairfield, A., Bagg, R., Vessie, G., Dick, P., Wilson, J., Aramini, J. & McBride, B. 2004. Comparison of techniques for measurement of rumen pH in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87: 59-66.
- Erdman, R. 1988. Dietary buffering requirements of the lactating dairy cow: a review. *Journal of Dairy Science* 71: 3246–3266.
- Falk, M., Münger, A. & Dohme-Meier, F. 2016. Technical note: A comparison of reticular and ruminal pH monitored continuously with 2 measurement systems at different weeks of early lactation. *Journal of Dairy Science* 99: 1951-1955.
- Faverdin, P., Dulphy, J., Coulon, J., Vérité, R., Garel, J., Rouel, J. & Marquis, B. 1991. Substitution of roughage by concentrates for dairy cows. *Livestock Production Science* 27: 137-156.
- Forbes, J. 2000. Physiological and metabolic aspects of feed intake control. Teoksessa: D'Mello, J. (toim.) *Farm animal metabolism and nutrition*. Wallingford, Englanti: CAB International. s. 319-333.
- Friedel, K. 1990. Die Schätzung des energetischen Futterwertes von Grobfutter mit Hilfe einer Cellulasemethode. [The estimation of the energetic feeding value of roughages by means of a cellulase method]. *Wissenschaftliche Zeitung Universität Rostock, N-Reihe* 39: 78–86.
- Friggens, N., Andersen, J., Larsen, T., Aaes, O. & Dewhurst, R. 2004. Priming the dry cow for lactation: a review of dry cow feeding strategies. *Animal Research* 53: 453-473.
- Gao, X. & Oba, M. 2014. Relationship of severity of subacute ruminal acidosis to rumen fermentation, chewing activities, sorting behavior, and milk production in lactating dairy cows fed a high-grain diet. *Journal of Dairy Science* 97: 3006–3016.
- Gao, X. & Oba, M. 2015. Noninvasive indicators to identify lactating dairy cows with a greater risk of subacute rumen acidosis. *Journal of Dairy Science* 98: 5735-5739.

- Grant, R. & Albright, J. 1995. Feeding behavior and management factors during the transition period in dairy cattle. *Journal of Animal Science* 73: 2791–2803.
- Grant, R. & Albright, J. 2000. Feeding behavior. Teoksessa: D’Mello, J. (toim.) *Farm animal metabolism and nutrition*. Wallingford, Englanti: CAB International. S. 365–382.
- Grummer, R. 1995. Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. *Journal of Animal Science* 73:2820–2833.
- Harmon, D., Britton, R., Prior, R. & Stock, R. 1985. Net portal absorption of lactate and volatile fatty acids in steers experiencing glucose-induced acidosis or fed a 70% concentrate diet ad libitum. *Journal of Animal Science* 60: 560–569.
- Hayirli, A., Grummer, R., Nordheim, E. & Crump, P. 2003. Models for predicting dry matter intake of Holsteins during the prefresh transition period. *Journal of Dairy Science* 86: 1771–1779.
- Huida, L., Väätäinen, H. & Lampila, M. 1986. Comparison of dry matter contents in grass silages as determined by oven drying and gas chromatographic water analysis. *Annales Agriculturae Fenniae* 25: 215–230.
- Huang, W., Tian, Y., Li, S., Wu, Z. & Cao, Z. 2017. Reduced energy density of close-up diets decrease ruminal pH and increase concentration of volatile fatty acids postpartum in Holstein cows. *Animal Science Journal* 88: 1700–1708.
- Huhtanen, P., Nousiainen, J. & Rinne, M. 2006. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications. *Agricultural and Food Science* 15: 293–323.
- Humer, E., Ghareeb, K., Harder, H., Mickdam, E., Khol-Parisini, A. & Zebeli, G. 2015. Periparturial changes in reticuloruminal pH and temperature in dairy cows differing in the susceptibility to subacute rumen acidosis. *Journal of Dairy Science* 98: 8788–8799.
- Humer, E., Petri, R., Aschenbach, J., Bradford, B., Penner, G., Tafaj, M., Südekum, K. & Zebeli, G. 2018. Invited review: Practical feeding management recommendations to mitigate the risk of subacute ruminal acidosis in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 101: 842–888.

- Huzzey, J., von Keyserlingk, M. & Weary, D. 2005. Changes in feeding, drinking and standing behavior of dairy cows during the transition period. *Journal of Dairy Science* 88: 2454-2461.
- Huzzey, J., Veira, D., Weary, D. & von Keyserlingk, M. 2007. Prepartum behavior and dry matter intake identify dairy cows at risk for metritis. *Journal of Dairy Science* 90: 3220-3233.
- Imamidoost, R. & Cant, J. 2005. Non-steady-state modeling of effects of timing and level of concentrate supplementation on ruminal pH and forage intake in high-producing, grazing ewes. *Journal of Animal Science* 83: 1102–1115.
- Ingvarsen, K., Aaes, O. & Andersen, J. 2001. Effects of pattern of concentrate allocation in the dry period and early lactation on feed intake and lactational performance in dairy cows. *Livestock Production Science* 71: 207-221.
- Jiang, F., Lin, X., Yan, Z., Hu, Z., Liu, G., Sun, Y., Liu, X. & Wang, Z. 2017. Effect of dietary roughage level on chewing activity, ruminal pH, and saliva secretion in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 100: 2660–2671.
- Kohn, R. & Dunlap, T. 1998. Calculation of the buffering capacity of bicarbonate in the rumen and in vitro. *Journal of Animal Science* 76: 1702–1709.
- Kokkonen, T., Tesfa, A., Tuori, M. & Syrjälä-Qvist, L. 2004. Concentrate feeding strategy of dairy cows during transition period. *Livestock Production Science* 86: 239-251.
- Kokkonen, T., Jaakkola, S., Hänninen, L. & Vanhatalo, A. 2015. The effects of dietary energy concentration of dry period diet on the eating and rumination time of cows. Teoksessa: Knight, C. H. (toim.). *Feeding Behaviour as an Indicator of Health and Welfare: Proceedings of the Third Dairy Care Conference 2015 Zadar, Croatia, October 5th and 6th 2015*. s. 21.
- Kokkonen, T., Salin, S., Jaakkola, S., Taponen, J., Elo, K. & Vanhatalo, A. 2018. Effects of dietary energy allowance in grass silage-based diets during the dry period on production responses and utilization of body reserves in dairy cows. *Agricultural and Food Science* 27: 264-274.

- Krajcarski-Hunt, H., Plaizier, J., Walton, J., Spratt, R. & McBride, B. 2002. Effect of subacute ruminal acidosis on in situ fiber digestion in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 85: 570-573.
- Krause, K., Oetzel, G., Kohn, D., Kuhn, D. & Frost, D. 2005 Continuous measurement of reticular and ruminal pH in dairy cows using a wireless pH system. *Journal of Dairy Science* 88: Suppl 1: 132-132.
- Kröger, I., Humer, E., Neubauer, V., Reisinger, N., Adytia, S. & Zebeli, Q. 2017. Modulation of chewing behavior and reticular pH in non-lactating cows challenged with concentrate-rich diets supplemented with phytogenic compounds and autolyzed yeast. *Journal of Dairy Science* 100: 9702–9714.
- Lescoat, P. & Sauvant, D. 1995. Development of a mechanistic model for rumen digestion validated using the duodenal flux of amino acids. *Reproduction Nutrition Development* 35: 45–70.
- Lindström, T. & Redbo, I. 2000. Effect of feeding duration and rumen fill on behaviour in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* 70: 83-97.
- Macmillan, K., Gao, X. & Oba, M. 2017. Increased feeding frequency increased milk fat yield and may reduce the severity of subacute ruminal acidosis in higher-risk cows. *Journal of Dairy Science* 100: 1045-1054.
- Maekawa, M., Beauchemin, K. & Christensen, D. 2002. Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities, saliva production, and ruminal pH of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 85: 1165–1175.
- Mann, S., Leal Yepes, F., Overton, T., Wakshlag, J., Lock, A., Ryan, C. & Nydam, D. 2015. Dry period plane of energy: Effects on feed intake, energy balance, milk production, and composition in transition dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98: 3366-3382.
- McCann, J., Wickersham, T. & Loor, J. 2014. Rumen microbiome and its relationship with nutrition and metabolism. *Bioinformatics and Biology Insights* 8: 109–125.
- McCullough, H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clinica Chimica Acta* 17: 297–304.

- McDonald, P., Edwards, R., Greenhalgh, J., Morgan, C., Sinclair, L. & Wilkinson, R. 2011. *Animal Nutrition*. 7. painos. Harlow, Englanti: Pearson. 692 s.
- Mertens, D. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 80: 1463-1481.
- Metzner, M., Sauter-Louis, C., Seemueller, A., Petzl, W. & Klee, W. 2014. Infrared thermography of the udder surface of dairy cattle: Characteristics, methods, and correlation with rectal temperature. *The Veterinary Journal* 199: 57-62.
- Mohammed, R., Stevenson, D., Weimer, P., Penner, G. & Beauchemin, K. 2012. Individual animal variability in ruminal bacterial communities and ruminal acidosis in primiparous Holstein cows during the periparturient period. *Journal of Dairy Science* 95: 6716-6730.
- Moisio, T. & Heikonen, M. 1992. *AIV-rehun perusteet*. Kirjayhtymä Oy Helsinki. Painettu: Tammer-Paino Oy, Tampere. 170 s.
- Mouriño, F., Akkarawongsa, R. & Weimer, P. 2001. Initial pH as a determinant of cellulose digestion rate by mixed ruminal microorganisms in vitro. *Journal of Dairy Science* 84: 848-859.
- Nasrollahi, S., Zali, A., Ghorbani, G., Moradi Shahrababak, M., Heydari Soltan Abadi, M. & Krueger, L. 2017. Variability in the susceptibility to acidosis among high producing mid-lactation dairy cows is associated with rumen pH, fermentation, feed intake, sorting activity, and milk fat percentage. *Animal Feed Science and Technology*. 228:72-82.
- Neubauer, V., Humer, E., Kröger, I., Braid, T, Wagner, M. & Zebeli, Q. 2017. Differences between pH of indwelling sensors and the pH of fluid and solid phase in the rumen of dairy cows fed varying concentrate levels. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 102:343-349.
- Nousiainen, J., Rinne, M., Hellämäki, M. & Huhtanen, P. 2003. Prediction of the digestibility of the primary growth of grass silages harvested at different stages of maturity from chemical composition and pepsin-cellulase solubility. *Animal Feed Science and Technology* 103: 97-111.

- Oetzel, G. 2017. Diagnosis and management of subacute ruminal acidosis in dairy herds. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 33: 163-480.
- Orkola, S. 2011. Rajoitetun tai vapaan ummessaolokauden ruokinnan vaikutus lypsylehmien käyttäytymiseen ja hyvinvointiin. Maisterintutkielma, Helsingin yliopisto, Maatalous- ja metsätieteellinen tiedekunta. 43 s.
- Penner, G., Aschenbach, J., Gäbel, G., Rackwitz, R. & Oba, M. 2009. Epithelial capacity for apical uptake of short chain fatty acids is a key determinant for intraruminal pH and the susceptibility to sub-acute ruminal acidosis in sheep. *Journal of Nutrition* 139: 1714–1720.
- Penner, G., Beauchemin, K. & Mutswanga, T. 2007. Severity of ruminal acidosis in primiparous holstein cows during the periparturient period. *Journal of Dairy Science* 90: 365-375.
- Pitt, R., Van Kessel, J., Fox, D., Pell, A., Barry, M. & Van Soest, P. 1996. Prediction of ruminal volatile fatty acids and pH within the net carbohydrate and protein system. *Journal of Animal Science* 74: 226–244.
- Plaizier, J., Khafipour, E., Li, S., Gozho, G. & Krause, D. 2012. Subacute ruminal acidosis (SARA), endotoxins and health consequences. *Animal Feed Science and Technology* 172:9–21.
- Plaizier, J., Krause, D., Gozho, G. & McBride, B. 2009. Subacute ruminal acidosis in dairy cows: the physiological causes, incidence and consequences. *The Veterinary Journal* 176: 21-31.
- Pyhälämmi, A. 2015. Lypsylehmien ummessaolokauden karkearehuruokinnan vaikutus maitotuotokseen ja rehunsyöntiin poikimisen jälkeen. Maisterintutkielma, Helsingin yliopisto, Maatalous- ja metsätieteellinen tiedekunta. 51 s.
- Rabelo, E., Rezende, R., Bertics, S. & Grummer, R. 2003. Effects of transition diets varying in dietary energy density on lactational performance and ruminal parameters of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 86: 916–925.
- Redbo, I., Emanuelson, M., Lundberg, K. & Oredsson, N. 1996. Feeding level and oral stereotypies in dairy cows. *Animal Science* 62: 199-206.

- Rémond, D., Ortigues, I. & Jouany, J. 1995. Energy substrates for the rumen epithelium. *Proceedings of the Nutrition Society* 54: 95-105.
- Rinne, M. 2000. Influence of the timing of the harvest of primary grass growth on herbage quality and subsequent digestion and performance in the ruminant animal. *Väitöskirja, Helsingin yliopisto, Maatalous- ja metsätieteellinen tiedekunta*. 42 s.
- Salin, S., Vanhatalo, A., Jaakkola, S., Elo, K., Taponen, J., Boston, R. & Kokkonen, T. 2018. Effects of dry period energy intake on insulin resistance, metabolic adaptation and production responses in transition dairy cows on grass silage-based diets. *Journal of Dairy Science* 101:1-20.
- Salo, M.-L. 1965. Determination of carbohydrate fractions in animal foods and faeces. *Acta Agraria Fennica* 105: 1–102.
- Sato, S., Ikeda, A., Tsuchiya, Y., Ikuta, K., Murayama, Kanehira, M., Okada, K. & Mizuguchi, H. 2012. Diagnosis of subacute ruminal acidosis (SARA) by continuous reticular pH measurements in cows. *Veterinary Research Communications* 36: 201-205.
- Schirmann, K., von Keyserlingk, M, Weary, D., Veira, D. & Heuwieser, W. 2009. Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92: 6052-6055.
- Schmitz, R., Schnabel, K., von Soosten, D., Meyer, U., Hüther, L., Spiegers, H., Rehage, J. & Dänicke, S. 2018. Changes of ruminal pH, rumination activity and feeding behavior during early lactation as affected by different energy and fibre concentrations of roughage in pluriparous dairy cows. *Archives of Animal Nutrition* 72: 458-477.
- Schwartzkopf-Genswein, K., Beauchemin, K., Gibb, D., Crews Jr., D., Hickman, D., Streeter, M. & McAllister, T. 2003. Effect of bunk management on feeding behavior, ruminal acidosis and performance of feedlot cattle: a review. *Journal of Animal Science* 81: E149–E158.
- Somogyi, M. 1945. A new reagent for the determination of sugars. *Journal of Biological Chemistry* 160: 61–68.

- Steele, M., Schiestel, C., AlZahal, O., Dionissopoulos, L., Laarman, A., Matthews, J. & McBride, B. 2015. The periparturient period is associated with structural and transcriptomic adaptations of rumen papillae in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 98: 2583–2595.
- Stone, W. 2004. Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle. *Journals of Dairy Science* 87: E13-E26.
- Tolkamp, B., Allcroft, D., Austin, E., Nielsen, B. & Kyriazakis, I. 1998. Satiety splits feeding behaviour into bouts. *Journal of Theoretical Biology* 194: 235-250.
- Urton, G., von Keyserlingk, M. & Weary, D. 2005. Feeding behavior identifies dairy cows at risk for metritis. *Journal of Dairy Science* 88: 2843-2849.
- Van Knegsel, A., van den Brand, H., Dijkstra, J., van Straalen, W., Jorritsma, R., Tamminga, S. & Kemp, B. 2007. Effect of glucogenic vs. lipogenic diets on energy balance, blood metabolites, and reproduction in primiparous and multiparous dairy cows in early lactation. *Journal of Dairy Science* 90: 3397-3409.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583–3597.
- Villot, C., Meunier, B., Bodin, J., Martin, C. & Silberberg, M. 2018. Relative reticulo-rumen pH indicators for subacute ruminal acidosis detection in dairy cows. *Animal* 12: 481-490.
- Wrenn, T., Bitman, J. & Sykes, J. 1961. Diurnal patterns of bovine body temperature. *Journal of Dairy Science* 44: 2077-2080.
- Yang, W. & Beauchemin, K. 2006. Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal pH of dairy cows fed diets based on barley silage. *Journal of Dairy Science* 89: 217–228.
- Yang, W. & Beauchemin, K. 2007. Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: chewing and ruminal pH. *Journal of Dairy Science* 90: 2826–2838.

- Zebeli, Q., Mansmann, D., Ametaj, B., Steingass, H. & Drochner, W. 2010. A model to optimise the requirements of lactating dairy cows for physically effective neutral detergent fibre. *Archives of Animal Nutrition* 64: 265–278.
- Zebeli, Q., Dijkstra, J., Tafaj, M., Steingass, H., Ametaj, B., Drochner, W. 2008. Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. *Journal of Dairy Science* 91:2046–2066.
- Zebeli, Q. & Metzler-Zebeli, B. 2012. Interplay between rumen digestive disorders and diet-induced inflammation in dairy cattle. *Research in Veterinary Science* 93:1099–1108.