

**PÖTSIN HAPPAMUUTTA PUSKUROIVAN REHUN
VAIKUTUS LYPSYLEHMILLÄ**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Mustiala, maaseutuelinkeinot

Syksy 2019

Pauliina Hämäläinen

Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma
Mustiala

Tekijä	Pauliina Hämäläinen	Vuosi 2019
Työn nimi	Pötsin happamuutta puskuroivan rehun vaikutus lypsylehmillä	
Työn ohjaajat	Katariina Manni, Jari Heikkinen	

TIIVISTELMÄ

Naudan pötsi mahdollistaa suuren rehumassan varastoinnin ja toimii elinympäristönä rehujen mikrobialisesta sulatuksesta vastaaville pötsimikrobeille, joiden toimesta myös kuitupitoisista rehuista muodostuu naudalle arvokkaita ravintoaineita. Mikrobin happamuuden sietokyvyissä on eroja, minkä vuoksi mahdollisimman tasainen pH pötsissä on sekä niille että naudalle eduksi. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää rehukokeen avulla, saadaanko pötsin happamuutta puskuroivalla rehulla nostettua pötsin pH:ta ja vähennettyä pH:n vaihtelua.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Vilomix Finland Oy. Opinnäytetyöhön kuului Mustialan navetalla marraskuussa 2018 aloitettu ja helmikuussa 2019 loppunut rehukoe, johon valittiin kuusi 1-3 viikkoa ennen kokeen alkua poikinutta lehmää. Koerehuna toiminutta pötsipuskuria syötettiin appeeseen sekoitettuna. Lehmät olivat kokeen aikana ensin kaikki koeryhmässä, sitten jaettuina koe- ja kontrolliryhmään. Kokeessa käytettiin eCow Devon Limited -yrityksen valmistamia anturiboluksia, jotka mittasivat pötsin pH:ta ja lämpötilaa. Lisäksi seurattiin lehmien märehmistä, painoa, tuotosta ja maidon pitoisuuksia.

Pötsin pH-mittauslaitteiston toimintahäiriöt ja kokeen aikana toimimasta lakanneet bolukset rajoittivat tulosten määrää sekä aiheuttivat ryhmien epätasaisuuden kokeen aikana. Lisäksi koe- ja kontrolliryhmien ruokintakerrat erosivat ryhmien koosta ja automaattisesta ruokintajärjestelmästä johtuen, mikä saattoi vaikuttaa kontrolliryhmän lehmien tuloksiin. Seurauksena koerehun mahdollisista vaikutuksista tehdyt havainnot jäivät pääosin yksittäisiksi poiminnoiksi, mikä vähensi niiden luotettavuutta eikä tutkimuskysymykseen saatu vastausta.

Avainsanat lypsylehmä, pötsi, pötsin pH, puskurointi

Sivut 57 sivua, joista liitteitä 1 sivu

Degree Programme in Agricultural and Rural Industries
Mustiala

Author Pauliina Hämäläinen **Year** 2019

Subject Effects of rumen buffer on dairy cattle

Supervisors Katariina Manni, Jari Heikkinen

ABSTRACT

The bovine rumen can store large amounts of feed, simultaneously giving the rumen microbes an environment where they can microbially digest the feed. These microbes can change even feeds rich in fiber into valuable nutrients for the cow. Stable rumen pH is beneficial for the rumen microbes and the ruminant, because there are differences in how well the microbes can tolerate acidity in rumen. The aim of this thesis was to find out if ruminal pH could be raised and changes in ruminal pH stabilized by using a rumen buffer.

This thesis was commissioned by Vilomix Finland Oy. The thesis included a feed experiment carried out at Mustiala barn. The experiment started in November 2018 and ended in February 2019. Six milking cows, which had given birth 1-3 weeks before the beginning of the experiment, were selected. The rumen buffer was fed to the cows mixed with PMR. During the experiment the cows were first as one group, which was later parted evenly into a test group and a control group. Ruminal pH was monitored with rumen boluses developed by the company eCow Devon Limited.

Malfunctions in the pH-monitoring boluses limited the amount of data collected and two boluses stopped working during the experiment, causing unevenness in the two cow groups. In addition, the difference between the size of the feeding groups caused difference in how often new feed was distributed. The latter may have affected the results of the control group. As a result, mainly only single observations of the buffer's possible effect were made, which reduced their credibility and left the original research question unanswered.

Keywords dairy cow, rumen, ruminal pH, buffering

Pages 57 pages including appendices 1 page

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	PÖTSI ON MÄREHTIJÄN RUUANSULATUKSEN KESKUS	3
2.1	Pötsin toiminnan perusteet	3
2.2	Rehujen sulatus pötsissä	5
2.2.1	Pötsin sisältö.....	7
2.2.2	Pötsin liikkeet	8
2.3	Pötsimikrobisto	9
2.3.1	Bakteerit	11
2.3.2	Alkueläimet.....	12
2.3.3	Sienet.....	13
2.4	Pötsin tuottamat ravintoaineet.....	13
2.5	Pötsin olosuhteiden vaikutus pötsin toimintaan	14
2.5.1	Pötsin sisältö vaikuttaa pötsin liikkeisiin ja mikrobitoimintaan	14
2.5.2	Fysiologiset keinot happamuuden säätelyyn	15
3	REHUJEN JA RUOKINNAN VAIKUTUS PÖTSIN TOIMINTAAN	18
3.1	Karkearehut.....	18
3.2	Väkirehut.....	19
3.3	Pötsipuskurit.....	20
3.4	Erillis- ja seosrehuruokinta.....	21
3.5	Vesi	23
4	PÖTSIN TOIMINTAHÄIRIÖT AIKUISELLA MÄREHTIJÄLLÄ.....	24
4.1	Äkillinen hapanpötsi.....	24
4.2	Piilevä hapanpötsi	25
4.3	Emäksinen pötsi	26
4.4	Puhaltuminen	26
5	KOE pH-TASOA SÄÄTELEVÄN REHUN VAIKUTUKSESTA	29
5.1	Tavoitteet	29
5.2	Toteutus	29
5.2.1	Koe-eläimet	30
5.2.2	Perusruokinta kokeen aikana	31
5.2.3	Pötsin happamuutta puskuroiva rehu.....	33
5.2.4	Pötsin pH-tason seuranta	33
5.2.5	Kerätyn tiedon tarkastelu Hathor-sovelluksella.....	36
5.3	Laitteiston toimintahäiriöt ja ruokinnan muutokset kokeen aikana	37
6	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....	39
6.1	Pötsin pH-tason seurannan tulokset.....	39
6.1.1	Neljän viikon koerehujakso kaikilla lehmillä	39
6.1.2	Siirtyminen koerehulta kontrolliryhmään	43

6.1.3	Siirtyminen kontrolliryhmästä koerehulle.....	46
6.2	Märehtimisen seurannan tulokset.....	48
6.3	Päivätuotoksen ja maidon pitoisuuksien seurannan tulokset	49
6.3.1	Päivätuotos.....	49
6.3.2	Rasva- ja valkuaispitoisuus	50
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	52
	LÄHTEET	54

Liitteet

Liite 1	Maitonäytteiden analyysitulokset ja vastaavat lypsyrobotin pitoisuusmittaukset
---------	--

1 JOHDANTO

Lypsylehmien ruokinta saadaan parhaimmillaan vaikuttamaan helpolta ja vaivattomalta; lehmät syövät hyvin, lypsävät hyvin ja pysyvät terveinä. Todellisuudessa maitoa tuottavan lypsylehmän elimistössä on meneillään jatkuva, äärimmäisen hyvin erityisesti naudalle luontaisen nurmirehun hajotukseen ja hyötykäyttöön kehittynyt prosessi. Lehmä kantaa sisällään ekosysteemiä, jossa ympäristö koostuu pötsistä ja sen sisältämästä rehumassasta. Ekosysteemin eliökunnan muodostavat pötsimikrobit, jotka mahdollistavat lehmän syömien kuitua sisältävien karkearehujen sulatukseen. Hitaasti sulavien kuitujen lisäksi pötsimikrobit kykenevät hyödyntämään myös muut nautojen ruokinnassa käytettävät rehut, kuten tärkkelyspitoiset viljaväkirehut ja typpipitoiset valkuaislisät. Mikrobikäymisen lopputuotteina syntyvät haihtuvat rasvahapot sekä mikrobivalkuainen ovat lehmälle välttämättömiä ravintoaineita. Lehmän yhteistyö pötsimikrobiensa kanssa on kehittynyt niin pitkälle, ettei paluuta ole. Lehmä ei selviä ilman pötsimikrobejaan: täysin hiljainen pötsi löytyy aikuiselta naudalta vain, jos se on vakavasti sairas tai kuollut.

Pötsimikrobeihin ja niiden kautta rehujen sulatukseen vaikuttaa pötsin sisällön pH-taso. On sekä pötsimikrobiston että itse lehmän etu, jos pötsin pH pysyy kaikille pötsimikrobeille soveltuvalla pH-tasolla 6 tai sen läheisyydessä. Jokainen lehmän syömä rehuannos aiheuttaa pötsissä pH:n laskun. Happamuus pötsissä pysyy kuitenkin normaalisti aisoissa, mikäli lehmä syö rehua tasaisesti pitkin päivää pieninä annoksina ja sen omat happamuuden säätelymekanismit ovat riittävällä tasolla. Energiapitoisilla väkirehuilla on niiden nopean pötsihajoamisen vuoksi vahva pötsin pH-tasoa laskeva vaikutus, minkä vuoksi on tärkeää, että lehmä saa päivittäiset väkirehunsäätävän pieninä kerta-annoksina.

Joskus ruokinnan väkirehupitoisuus joudutaan nostamaan korkeaksi. Syynä voi olla huonon kasvukauden vuoksi heikkolaatuinen tai määrältään niukka karkearehu, jolloin väkirehun lisäyksellä täydennetään muutoin vajaksi jäävää ravintoaineiden saantia. Viljaväkirehun korkea osuus ruokinnan kuiva-aineesta altistaa lehmän pötsin happamoitumiselle. Toisaalta happamoitumisen riskiä voi lisätä myös hyvin hapan ja märkä säilörehu. Kuvatuissa tilanteissa ruokinnassa voi olla aiheellista käyttää lehmien pötsin hyvinvoinnin tukemiseksi pötsipuskureita, joiden tarkoitus on neutraloida happamuutta pötsissä.

Hapan pötsiympäristö heikentää kuidun sulatusta pötsissä, aiheuttaa vaihtelua syöntimäärissä ja saa aikaan maidon rasvapitoisuuden alenemisen. Lisäksi lehmän märehäytymiseen käyttämä aika voi supistua ja sonta olla löysää. Vaihtelevat oireet vaikeuttavat happaman pötsin tunnistamista. Lehmillä on myös yksilökohtaisia eroja sen suhteen, kuinka hyvin ne kestävät

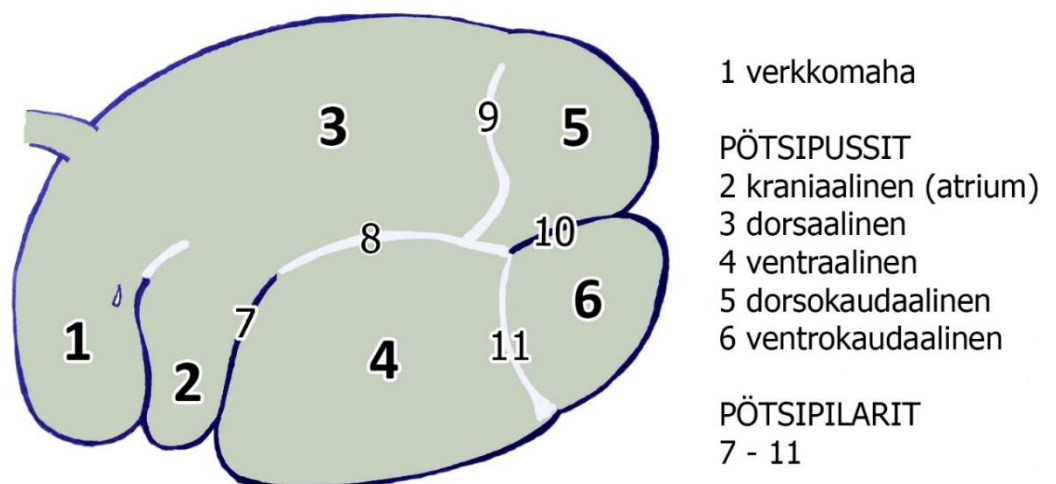
voimakasta ruokintaa ilman pötsin toiminnan häiriötä. Pötsin happamuutta voidaan tutkia siihen suunnitellulla pH-tasoa mittaavalla anturiboluksella, joka saadaan pötsiin suun kautta normaalin boluksen tapaan. Boluksen tiedonkeruun avulla pystytään seuraamaan pH-tason kehittymistä ja voidaan seurata esimerkiksi ruokinnan muutosten vaikutusta. Tilatasolle anturibolusten käyttö tuskin rantautuu lähivuosina, sillä laitteiden hankinta on kallista ja hintaan nähden bolusten käyttöikä lyhyt.

2 PÖTSI ON MÄREHTIJÄN RUUANSULATUKSEN KESKUS

2.1 Pötsin toiminnan perusteet

Pötsiä kuvataan usein suureksi käymissammiksi, sillä se toimii sekä rehuvarastona että sopivana ympäristönä rehua sulattaville pötsimikrobeille. Nauta elää symbioosissa etumahojensa pötsimikrobiston kanssa. Isäntäeläimenä nauta tarjoaa pääosin anaerobisille pötsimikrobeille suotuisat kasvuolot hapettomassa, lämpötilaltaan tasaisessa ja happamuudeltaan lähes neutraalissa ympäristössä. Pötsikäymisessä mikrobit takertuvat rehu-partikkeleihin, hajottavat ja muuntavat ne oman aineenvaihduntansa avulla naudalle käyttökelpoisiksi lopputuotteiksi, kuten energianlähteenä toimiviksi haihtuviksi rasvahapoiksi. (Hutjens, 2003, s. 6; Vanhatalo, 2010a, s. 19) Symbioosissa molemmat osapuolet hyötyvät. Pötsin etuosassa sijaitsee verkkomaha, jonka tehtävänä on kuljettaa pötsissä pitkälle sulanutta rehumassaa eteenpäin ruuansulatuskanavassa. Verkkomaha muodostaa pötsin kanssa yhtenäisen kokonaisuuden ja yhdessä niitä nimitetään pötsiverkkomahaksi. (Vanhatalo, 2010a, s. 19, 21) Kokonaisuuden tilavuus on aikuisella naudalla 100 – 200 litraa (Hulsen & Aerden, 2014, s. 7; Vanhatalo, 2010a, s. 20).

Täytenä pötsi ulottuu aikuisen naudän palleasta lantioon ja on kosketuksissa vatsapeitteiden kanssa vasemmalla. Pötsin molemmilla sivuilla sijaitsee ulkoinen pitkittäisura, johon yhdistyy poikittaisia uria sekä pötsin etu- että takaosassa. Yhdessä pitkittäisurat muodostavat horisontaalisen kehän pötsin ympärille ja jakavat sen kuvassa 1 näkyviin dorsaaliseen eli selänpuoleiseen ja ventraaliseen eli mahanpuoleiseen pussiin. (Sjaastad, Sand & Hove 2010, s. 554)



Kuva 1. Pötsipussien ja pötsipilareiden sijainti vasemmalta katsottuna.

Pötsionteloon ojentuvia pötsin seinämän paksuja osia kutsutaan pötsipilareiksi. Pilarit jakavat pötsiontelon useaan pötsipussiin (kuva 1). Pilarien

olemassaolo ja niiden supistelu vaikuttavat pötsin sisällön tehokkaaseen kerrostamiseen ja sekoittamiseen. Ne myös vähentävät naudän etumahojen sisällön paikoiltaan siirtymistä naudän liikkussa rajusti ja äkillisesti. (Sjaastad ym., 2010, s. 554).

Suurin osa pötsin seinämistä koostuu sileästä lihaskudoksesta, jonka lihasolut ovat kahdessa erisuuntaisessa kerroksessa. Lihaskudoksen avulla pötsi pystyy liikuttamaan pötsin sisältöä huomattavalla voimalla eri osien välillä pötsi-verkkomahassa. Sisällön määrä ei vaikuta sen sekoittumisen tehokkuuteen, sillä sileät lihasolut pystyvät supistumaan ja käyttämään voimaa laajalla alueella solujen pituuden ja venymisasteen suhteen. (Sjaastad ym., 2010, s. 557)

Naudän etumahojen sisäpinta on vuorattu kerrostuneella, suomalaisella epiteelillä eli pintakudoksella. Epiteelin uloimman eli pötsionteloa kohti olevan kerroksen (stratum corneum) kuolleet solut sisältävät keratiinia, mikä lisää niiden suojaavia ominaisuuksia. Keskimmaisessä jyväsolukerroksessa (stratum granulosum) solujen välistä ionien diffuusiota rajoittavat tiukat yhteenliittymät. Siitä huolimatta etumahojen epiteelin läpi tapahtuu laajalti veden ja ionien kuljetusta, sillä se läpäisee vettä ja ioneja paremmin kuin ihon epiteeli. (Sjaastad ym., 2010, s. 557) Tämä mahdollistaa ravintoaineiden imeytymisen pötsin seinämän läpi hyvin nopeasti (Hulsen & Aerden, 2014, s. 9). Pohjakerros (stratum basale) on epiteelissä ainoa, jossa tapahtuu solujen jakautumista. Uudet solut kulkeutuvat kohti pötsin keskustaa ja keratinisoituvat vaiheittain. Tällä tavoin epiteeli uusiutuu jatkuvasti. (Sjaastad ym., 2010, s. 557)

Pötsin sisäseinämän imeytymispinta-alaa lisäävät huomattavasti sen lähes kokonaan peittävät, 10-15 mm pituiset lehdenmuotoiset papillit (Vanhatalo, 2010a, s. 20 – 21). Ne ovat erityisen hyvin kehittyneitä naudän pötsin alaosissa, varsinkin kuvassa 1 näkyvissä atriumissa ja ventraalisessa pötsipussissa (Sjaastad ym., 2010, s.557). Lyhyempiä papilleja ja papillitonta seinämää voi löytyä esimerkiksi nälkäkuopan alueelta (kuva 2).

Pisimmät ja kehittyneimmät papillit löytyvät naudoilta, joiden dieetti koostuu pääosin karkearehuista ja rehun syöntimäärä on suuri. (Sjaastad ym., 2010, s. 557) Papillien ansiosta pötsin pinta-ala suurenee jopa 45-kertaiseksi (Hulsen & Aerden, 2014, s. 9). Kun dieetti vaihtuu vähäenergisiksi esimerkiksi lypsylehmien umpikaudella, papillit lyhenevät ja pötsin sisäpinta-ala vastaavasti pienenee (Hutjens, 2003, s. 6).

Vanhatalon (2010a, s. 21) mukaan pötsin epiteeli vaihtuu verkkomahan hunajakennomaiseksi epiteeliksi ilman selkeää rajapintaa. Naudoilla kennorakenteen yksittäisen kennon seinämät ovat 5 – 20 mm korkeita ja 2 -3 mm leveitä (Sjaastad ym., 2010, s. 554). Naudän syömät pienet vierasesiineet jäävät herkästi kiinni verkkomahan rakenteeseen, mikä suojelee muuta ruuansulatuskanavaa niiltä (Thomas, 2009, s. 163).



Kuva 2. Nälkäkuopan seudulta otettu näyte pötsin papillipinnasta. Vasemmassa alanurkassa erottuu osa pötsipilaria, jonka kohdalla papilleja ei ole. Näyte on noin viikko poikimisen jälkeen akuutin utaretulehduksen vuoksi hätäteurastetulta lehmältä.

2.2 Rehujen sulatus pötsissä

Märehtijän pötsiin ei erityy ruuansulatusentsyymejä eikä limaa keratinisoituneen sisäpinnan vuoksi. (Vanhatalo, 2010a, s. 20). Sen sijaan pötsimikrobit vastaavat pötsissä tapahtuvaan rehun sulatukseen tarvittavien entsyymien tuotannosta. Erityisesti kuidun sulatus olisi naudalle mahdotonta ilman pötsimikrobeja. Osa pötsimikrobien tuottamista entsyymeistä kykenee rikkomaan kasvien soluseinähiilihydraattien, kuten selluloosan ja hemiselluloosan kemiallisia sidoksia, toisin kuin isäntäeläimen tuottamat entsyymit. Selluloosa ja hemiselluloosa sisältävät ison osan energiasta märeh-tijöiden luontaisessa ruokavaliossa. (Sjaastad ym., 2010, s. 553)

Naudan syömiseen ja märehkimiseen liittyvä toistuva rehun pureskelu hienontaa rehuaineen pienemmiksi partikkeleiksi lisäten samalla pötsimikrobien käytössä olevaa pinta-alaa. Pötsikäymisen aikana rehupartikkelien solunseinärakenteet haurastuvat ja hajoavat pienemmiksi, kun partikkelit vettyvät ja kaasua poistuu niiden huokosista. (Vanhatalo, 2010a, s. 24) Partikkeleiden koko sekä muoto, sulavuus ja tiheys vaikuttavat aikaan, jonka ne viipyvät pötsissä sulatettavina ennen niiden kulkeutumista eteenpäin ruuansulatuskanavassa. Säilörehu, heinä sekä muut kuitupitoiset rehut märehditään toistuvasti, kunnes niistä tulee tarpeeksi pienikokoisia ja sulatettuja, jotta ne voivat poistua pötsi-verkkomahasta. (Sjaastad ym., 2010, s. 557; ks. myös Hutjens, 2003, s. 7)

Hiilihydraattien osuus rehujen kuiva-aineesta nautojen ruokinnassa on keskimäärin 70 – 80 %, lopun koostuessa valkuaisesta, rasvoista ja mineraaleista. Hiilihydraatit ovat pötsimikrobiston ensisijainen energianlähde. (Hutjens, 2003, s. 7) Vastaavasti tavallisessa märehittäjän ruokinnassa enimmillään 85 % kokonaisenergiasta on peräisin hiilihydraateista. (Sjaastad ym., 2010, s. 570) Hiilihydraattien hajotuksen lopputuotteena syntyvät haihtuvat rasvahapot ovat naudalle sen tärkein energianlähde (kappale 2.4).

Rehun sisältämä raakavalkuainen voidaan jakaa pötsissä hajoavaan valkuaiseen, johon sisältyy ei-valkuaisyppi NPN (non-protein-nitrogen) sekä pötsissä hajoamattomaan eli ohitusvalkuaiseen. NPN-yhdisteitä ovat esimerkiksi urea, aminohapot ja nitraatit. Mikrobit hajottavat pötsissä hajoavan valkuaisen ja NPN:n välivaiheiden kautta peptideiksi, aminohapoiksi ja lopulta ammoniakiksi. Monet pötsimikrobit vaativat ammoniakkia omaan kasvuunsa ja mikrobivalkuaisen (kappale 2.4) syntetisointiin. Mikrobivalkuainen on varsinkin lypsylehmälle tärkeä valkuaisen lähde. (Vanhatalo, 2010b, s. 31; Hutjens, 2003, s. 8)

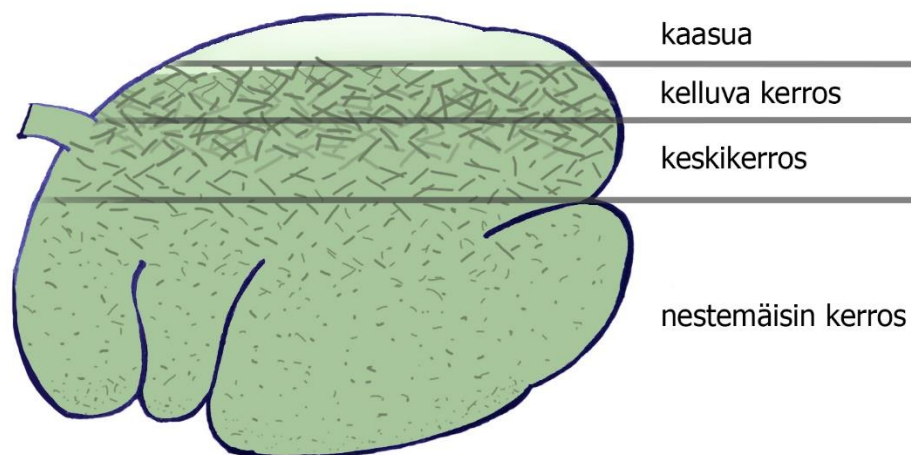
Typen saannin ollessa riittävä mikrobivalkuaisen muodostus riippuu siitä, onko mikrobeilla tarpeeksi hiilihydraattien sulatuksesta saatavaa energiaa ammoniakkin sitomiseen. Jos typpeä ei ole tarpeeksi, pötsimikrobien kasvu hidastuu rakennusosien puutteessa. Pötsimikrobien tarpeisiin nähden liian suuren tai riittämättömän energian vuoksi korkea ammoniakkipitoisuus pötsissä saa ylimääräisen ammoniakkin imeytymään pötsistä verenkiertoon. Ammoniakki muutetaan maksassa ureaksi, jonka jälkeen osa siitä poistuu elimistöstä virtsan ja maidon mukana. Osa palaa ureakierroksi kutsutussa eläimen sisäisessä typen kierrossa takaisin pötsiin. Tämä tapahtuu joko syljen mukana tai verenkierrosta pötsin seinämän läpi. Pötsimikrobit hajottavat pötsiin palanneen urean uudelleen ammoniakiksi, jolloin se on jälleen hyödynnettävissä. Ureakierron avulla nauta pystyy tasaamaan rehusta saadun typen vaihtelua. (Vanhatalo, 2010b, s. 31; Hutjens, 2003, s. 9)

Noin 55-70 % rehun valkuaisesta poistuu pötsistä mikrobivalkuaisena. Hajoamaton osuus eli ohitusvalkuainen kulkee pötsin läpi muuttumatta. Ohitusvalkuainen sisältää sekä ohitusuolessa hajoavan ja imeytyvän valkuaisen että kokonaan sulamattoman valkuaisen. (Vanhatalo, 2010b, s. 32; Hutjens, 2003, s. 8 – 9) Ohitusvalkuaisen merkitys korostuu korkeatuottoisilla lypsylehmillä, sillä niiden valkuaisentarve ylittää pötsimikrobien kapasiteetin muodostaen mikrobivalkuaista (Sjaastad ym., 2010, s.574).

2.2.1 Pötsin sisältö

Pötsin päällimmäisen eli kaasukerroksen saa aikaan rehun käyminen pötsissä. Varsinkin hiilihydraattien hajottaminen vapauttaa hiilidioksidia ja metaania sekä jonkin verran rikkivetyä, vetyä, happea ja typpeä. Pötsin supistukset sekoittavat sisältöä, mikä puolestaan auttaa kaasukuplien nousua kaasukerrokseen. (Sjaastad ym., 2010, s.558; ks. myös Hutjens, 2003, s. 7)

Nurmirehuruokinnalla pötsin sisältämässä rehumassassa on huomattavissa erilaisia kerrostumia (kuva 3.) Kerrostuminen johtuu sekä rehumassan tiheyseroista että pötsipilareiden olemassaolosta. Päällimmäisessä märehitimiskerrossa kelluu suurista rehuartikkeleista, eli varsinkin kuitupitoisista karkearehuista koostuva kuitumatto. (Sjaastad ym., 2010, s. 559; Vanhatalo, 2010a, s. 24) Kuitupartikkelien pituus on yli 0,8 cm ja ne koostuvat selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä eli kasville rakenteen antavista hiilihydraateista. Jos rehun pituus on alle 0,8 cm, se ei muodosta kelluvaa kerrosta, vaikka se sisältäisi paljon hitaasti sulavaa kuitua. (Hulsen & Aerden, 2014, s. 10)



Kuva 3. Naudan pötsi-verkkomahan sisältö nurmirehuruokinnalla.

Kelluvan kerroksen kuiva-ainepitoisuus vaihtelee välillä 10 – 15 %. Rehuartikkeleiden tiheys kerroksessa on 0,9 – 1 kg/l, mikä on hieman veden

tiheyttä pienempi. Partikkelit nousevat kerrokseen pääosin jatkuvan kaasuntuotannon vuoksi. Vaikka syöty, kuiva kasviaines sisältää huomattavasti ilmaa, tämä ei vaikuta merkittävästi partikkelien kellumistaipumukseen. Ilman sisältämä typpi hajoaa pötsinesteessä ja siihen kykenevä pötsimikrobiston osa hyödyntää hapen nopeasti. (Sjaastad ym., 2010, s. 558) Rehupartikkelit pysyvät kelluvassa kerroksessa tai heti sen alapuolella niin kauan, kuin ne sisältävät orgaanista ainesta, josta kaasua voi muodostua. Kaasunmuodostuksen lakatessa partikkelien tiheys kasvaa ja ne vajoavat vähittäin alemmas pötsissä. Tiheyden lisäksi partikkelien muoto ja koko määrittävät niiden vajoamisnopeuden. Pienimmät ja raskaimmat rehupartikkelit uppoavat kelluvan kerroksen sekaan ja tarttuvat siihen. Kelluvan kerroksen avulla ne pysyvät pidempään pötsissä. (Hulsen & Aerden, 2014, s. 9; Sjaastad ym., 2010, s. 558)

Rehulautan alapuolella keski- eli sedimentoitumiskerroksessa sijaitsee loppu rehumassa pötsinesteeseen sekoittuneena ja pohjalla nestemäisimmät, sulaneimmat ja pienimmät rehupartikkelit. (Hulsen & Aerden, 2014, s. 8; Vanhatalo, 2010a, s. 24) Kostuneen ja hienontuneen kasviaineksen kuiva-ainepitoisuus näissä osissa on 4 – 6 % ja tiheys 1,1 – 1,2 kg/l. Pohjalle painunut aines on valmis kulkemaan verkkomahan kautta eteenpäin ruuansulatuskanavassa. (Sjaastad ym., s. 558)

2.2.2 Pötsin liikkeet

Pötsi-verkkomahan supistusten tarkoitus on sekoittaa etumahojen sisältöä sekä siirtää sitä satakertaan. Rehun sekoittaminen auttaa saamaan rehupartikkelit ja pötsimikrobiston sekä pötsikäymisen tuottamat ravintoaineet ja pötsin imeytyspinnat kosketuksiin toistensa kanssa sekä tuomaan suurimmat partikkelit kelluvaan kerrokseen uudelleen märehdittäviksi. Myös rehun siirto takaisin suuonteloon märehtimistä varten sekä kaasun poisto tapahtuvat supistusten avulla. (Hutjens, 2003, s. 7; Sjaastad ym., 2010, s. 559) Supistukset ovat vahvimpia ja tapahtuvat tiheimmin nautan syödessä sekä seuraavien 2 – 3 tunnin aikana. Syömisen ja märehtimisen aikana pötsin sisältöä sekoittavat ja rehumassaa ruuansulatuskanavassa eteenpäin kuljettavat supistukset tapahtuvat noin 40 – 60 sekunnin välein. Tämän jälkeen supisten voimakkuus heikkenee ja ne tapahtuvat harvemmin – supistusten väli kasvaa noin 80 – 100 sekuntiin. (Sjaastad ym., 2010, s. 561; Webster, 1987, s.36)

Pötsin liikkeet jakautuvat kolmeen eri tyyppiin: sekoitusyكليin eli primäärisiin supistuksiin, märehtimiseen liittyviin supistuksiin sekä kaasun poistoon liittyviin eli sekundäärisiin supistuksiin (Sjaastad ym., 2010, s. 559).

Kun lehmä syö rehua, rehu päätyy kelluvan kerroksen pintaan (Hulsen & Aerden, 2014, s. 8). Tuore rehumassa sekoittuu pötsin sisältöön noin minuutin välein tapahtuvien primääristen supistusten seurauksena. Sekoitussykliin saa aikaan pötsi-verkkomahan seinämien ja pötsipilareiden syklinen

supistelu. (Vanhatalo, 2010a, s. 23) Sykli alkaa verkkomahan supistumisella, minkä aikana tapahtuu rehumassan siirto ruoansulatuskanavassa eteenpäin. Naudalla rehumassaa siirtyy satakertaan kerralla 50 – 100 ml. Verkkomahan jälkeen supistus etenee pötsiin. (Sjaastad ym., 2010, s. 560)

Pötsin supistus alkaa pötsin yläosasta, jossa pötsin seinämien ja pilareiden supistusten toistuminen saa aikaan sisällön hitaan ja kiertävän liikkeen. Yläosan supistuksia seuraa välittömästi alempien pötsipussien supistus, jonka tuloksena on vastaava kiertoliike pötsin alaosassa. Kiertoliikkeen aikana yläosan rehupartikkeleja vajoaa alas ja alaosan sulaneinta rehumassaa siirtyy pötsi-verkkomahan etuosiin. (Sjaastad ym., 2010, s. 560 – 561) Kuvatun supistusarjan aikaansaama kiertoliike muistuttaa kahdeksikkoo. Rehun kulkeutuminen atriumista (kuva 1) suurten pötsipussien kautta takaisin atriumiin kestää noin tunnin. (Webster, 1987, s. 36)

Märehtimiseen liittyvät supistukset saavat alkunsa reflekseistä, jotka syntyvät karkeiden ja jäykkien rehupartikkelien stimuloimissa hermopäätteitä ruokatorven aukon ympärillä (Sjaastad ym., 2010, s. 561; Hutjens, 2003, s. 7) Rehussa on oltava riittävästi vähintään 2,5 cm pituisia rehupartikkeleita märehittämiseksi (Hulsen & Aerden, 2014, s. 8) Refleksit saavat aikaan supistuksen, jonka seurauksena ruokatorven aukon edustalle virtaa osittain sulatettua rehumassaa. Refleksi saa aikaan myös paine-eron ruokatorven ja pötsi-verkkomahan välillä, minkä ansiosta avautuva ruokatorven aukko vetää etumahojen sisältöä ruokatorveen suuhun kulkeutuvaksi märepalaksi. (Sjaastad ym., 2010, s. 561, Hulsen & Aerden, 2014, s. 9)

Viimeinen pötsisupistusten joukko on kaasunpoistoon liittyvät sekundääriset supistukset. Korkeatuottoisen lypsylehmän on poistettava pötsi-verkkomahasta vuorokaudessa 2000 – 4000 litraa pötsikäymisen aikaansaamaa kaasua. (Sjaastad ym., 2010, s.562) Normaalioloissa pötsiin kertyvän kaasun aiheuttama laajeneminen stimuloi pötsisupistuksia, joiden seurauksena kaasut poistuvat etumahoista röyhtäilyn kautta (Hutjens, 2003, s. 7). Sekundäärinen supistus saa pötsin sisältämän kaasun työntymään ruokatorven aukon eteen, josta kaasu siirtyy ruokatorveen ja suuhun samalla tavalla, kuin märepala lehmän märehittäessä. (Sjaastad ym., 2010, s. 562; Webster, 1987, s. 36) Kaasun poistuminen tapahtuu noin kaksi kertaa viidessä minuutissa (Hulsen & Aerden, 2014, s.10). Tavallisesti sekundääristen supistusten välissä on 2-3 pötsin sekoitusyhtä. Kaasuntuotannon ollessa huipussaan pian ruokinnan jälkeen kaasunpoistoa voi kuitenkin esiintyä jokaisen sekoitusyhtä jälkeen. (Sjaastad ym., 2010, s. 562) Jos kaasunpoisto häiriintyy syystä tai toisesta, lehmä voi puhaltua (kappale 4.4).

2.3 Pötsimikrobisto

Naudan pötsimikrobiston muodostavat pieneliöt voidaan jakaa kolmeen eri pääryhmään: bakteereihin, alkueläimiin ja sieniin. Pötsinesteessä niitä

on yli miljardi kappaletta millilitrassa. (Hulsen & Aerden, 2014, s. 8; Vanhatalo, 2010a, s. 23) Lähes kaikki pötsimikrobit ovat anaerobisia. Pötsiin pureskellun rehun ja verenkierron mukana saapuvasta hapesta huolehtii pieni joukko fakultatiivisesti anaerobisia bakteereja, jotka pystyvät sekä hyödyntämään happea että toimimaan hapettomissa oloissa. Niiden avulla pötsiympäristö pysyy suotuisana hapettomia olosuhteita vaativille pötsimikrobeille. Hapen puute pötsi-verkkomahassa estää ravintoaineiden täydellisen hajoamisen hiilidioksidiksi ja vedeksi. Sen sijaan niistä muodostuu märehitijälle käyttökelpoisia lopputuotteita. (Sjaastad ym., 2010, s.567)

Pötsin pieneliöillä on tasaisesti jatkuvaa, monimutkaista kilpailua ravintoaineista. Osa mikrobeista pystyy hyödyntämään erilaisia kasvualustoja monipuolisemmin, kun taas toiset ovat erikoistuneempia. Mikrobit käyttävät rehujen ravintoaineita omaan kasvuunsa, liikkumiseen sekä lisääntymiseen. Märehitijän hengissä pysymisen kannalta niiden muodostama monipuolinen järjestelmä ja pötsikäymisen lopputuotteet ovat välttämättömiä. (Sjaastad ym., 2010, s. 565; Vanhatalo, 2010a, s. 23)

Pötsimikrobien keskinäisen kilpailun takia märehitijän ruokinnan koostumus vaikuttaa pötsimikrobiston koostumukseen sekä vastaavasti muodostuviin lopputuotteisiin. Ruokinnanmuutosten tulee olla maltillisia, jotta pötsimikrobistolla on aikaa sopeutua muutoksiin ilman häiriöitä niiden toiminnassa. (Vanhatalo, 2010a, s. 23)

Esimerkiksi väkirehujen lisääminen ruokinnassa äkillisesti saa niitä hajottavien bakteereiden ja vastaavasti tuotettujen rasvahappojen määrän kasvamaan jyrkästi, mikä lisää happamuutta pötsissä ja haittaa kuitua sulattavien mikrobien toimintaa. Karkea- ja väkirehusuhteiden jatkuva vaihtelu ruokinnassa johtaa vastaavasti mikrobipopulaation sekasortoon. (Thomas, 2009, s. 164) Sekä karkea- että väkirehujen äkilliset muutokset ruokinnassa laskevat pötsin pH-tasoa (Kajava, Palmio & Sairanen, 2014, s. 40).

Koska nisäkkäiden ruuansulatuskanava on niiden syntyessä steriili, märehitijän täytyy saada pötsikäymisen edellyttämät mikrobit etumahoihinsa nielimällä. Pötsimikrobiston perustavat mikrobit päätyvät vasikan elimistöön sen ympäristöstä: emon vetimistä ja iholta sekä emon syljestä sen nuollessa vasikkaansa. Märehitijän vuoksi emolla on jatkuvasti suussaan etumahojensa mikrobistoa. Emon huolenpito vasikasta ensimmäisten elinpäivien aikana auttaa siirtämään mikrobeja vasikalle. Kokonainen bakteeripopulaatio kehittyy siitä huolimatta hiljalleen myös vasikoille, jotka eristään muista eläimistä. Kontakti vasikan ja täysi-ikäisen karjan välillä on kuitenkin välttämätöntä kattavan alkueläinpopulaation perustamiseen. (Sjaastad ym., 2010, s. 567)

Pötsi-verkkomahasta pois kulkeutuneet mikrobit on korvattava uusilla, jotta mikrobipopulaatio pysyy tasaisena. Tämän vuoksi mikrobien viipymäajan pötsissä on oltava pidempi kuin niiden elinikä. Yli 8 - 16 h elävien mikrobien (taulukko 1) on täten kiinnitettävä itsensä joko pötsin seinämiin tai

kuitupitoiseen kelluvaan kerrokseen. Kuidun sulatuksen kannalta tärkeiden selluloosaa hajottavien sienten elinikä on 24 tuntia tai enemmän ja ne katoavat pötsistä eläimillä, joiden ruokinta koostuu nopeasti hajoavista rehuista. (Sjaastad ym., 2010, s. 556)

Taulukko 1. Pötsimikrobiston tärkeimpien ryhmien ominaispiirteet. (Sjaastad ym., 2010, s. 566)

	Elinikä	Tiheys (kpl/ml)	Mikrobimassa (g/l sisältöä)	% mikrobimassasta
Bakteerit		1×10^{10}	15 – 27	50 – 90
Amylolyttiset	20 – 30 min			
Sellulolyttiset	18 h			
Alkueläimet	6 – 36 h	4×10^5	3 – 15	10 – 50
Sienet	24 h	1×10^4	1 – 3	5 – 10

2.3.1 Bakteerit

Bakteerit muodostavat lukumääränsä puolesta suurimman ryhmän pötsimikrobistosta (taulukko 1). Ne ovat muodoiltaan kokkeja, sauvoja tai spiraaleja ja niiden koko on 0,3 – 50 µm. Bakteerien luokittelu perustuu usein niiden käyttämiin ravintoaineisiin tai aikaansaamiin lopputuotteisiin. (Vanhatalo 2010a, s. 23) Sellaisenaan rehusta löytyviä ravinteita hajottavia bakteereita kutsutaan primäärisiksi pötsibakteereiksi. Tärkkelyksen hajottamiseen erikoistuneet bakteerit jaetaan lisäksi amylolyttisiin eli tärkkelystä sokereiksi hajottaviin sekä sellulolyttisiin eli selluloosaa hajottaviin bakteereihin. Ero kyseisten bakteeriryhmien elinikien välillä on huomattava (taulukko 1). Primääristen pötsibakteerien lopputuotteita aineenvaihdunnassa hyödyntäviä bakteereja kutsutaan sekundäärisiksi pötsibakteereiksi. (Sjaastad ym., 2010, s. 567)

Amylolyttiset bakteerit tuottavat tärkkelystä hajottavia entsyymejä (Vanhatalo, 2010a, s.23). Tärkkelyksen lisäksi ne pystyvät hyödyntämään aineenvaihdunnassa liukenevia hiilihydraatteja. Tärkkelyspitoisen viljavä-kirehuannoksen jälkeen amylolyttisten bakteerien määrä moninkertaistuu hyvin nopeasti ja niiden tuottamat happoyhdisteet aiheuttavat pötsiverkkomahassa pH-tason laskun. Tällä bakteeriryhmällä on korkea sietokyky happamuudelle. (Sjaastad ym., 2010, s. 567) Ne toimivat parhaiten pötsin pH-arvon ollessa 5,5 – 6,0 (Hutjens, 2003, s. 8).

Sellulolyttiset bakteerit ovat erikoistuneet tuottamaan kuitua hajottavia entsyymejä (Vanhatalo, 2010a, s. 23). Ne hajottavat hitaasti kasvien soluseinien osana olevia hiilihydraatteja, kuten selluloosaa, hemiselluloosaa ja fruktosaaneja. Bakteerit toimivat kiinnittymällä kasvukuitujen pintaan, minkä jälkeen ne hajottavat suuria hiilihydraattimolekyylejä pienempiin

osiin erilaisten entsyymien avulla. Selluloosan ja hemiselluloosan hajoaminen on herkkä pH:n vaihteluille. Pötsin pH:n laskiessa alle kuuden hajoaminen vähenee huomattavasti. (Sjaastad ym., 2010, s. 568) Optimaalinen pötsinesteen pH sellulolyttisille bakteereille on välillä 6,0 – 6,8 (Hutjens, 2003, s. 8).

Proteolyttiset bakteerit osallistuvat pötsissä tapahtuvaan rehuvalkuaisen hajottamiseen tuottamalla siihen soveltuvia entsyymejä (Vanhatalo, 2010a, s. 53; Sjaastad, ym. 2010, s. 568). Solunulkoiset proteaasi-entsyymit aloittavat hajottamisen pilkkomalla rehuvalkuaista peptideiksi tai aminohapoiksi. Peptidien hajoaminen aminohapoiksi jatkuu bakteerien peittäessä ne. Aminohapot joko hyödynnetään suoraan mikrobivalkuaisyynteesissä tai hajotetaan, minkä seurauksena muodostuu orgaanisia happoja ja ammoniakkia. Ammoniakkia pystytään hyödyntämään typenlähteenä mikrobivalkuaisyynteesissä. (Sjaastad ym., 2010, s. 568)

Proteolyttisten bakteerien toiminta on hyödyllistä märehitjälle myös sen vuoksi, että vapautunut ammoniakki ja aminohapot stimuloivat hiilihydraatteja hajottavien pieneliöiden kasvua. (Sjaastad ym., 2010, s. 568) Vastaavasti liian matala ammoniakkipitoisuus pötsinesteessä hidastaa pötsimikrobien kasvua ja sitä kautta myös heikentää rehuannoksen sulavuutta ja syöntiä. (Vanhatalo, 2010b, s. 31)

Metanogeeniset bakteerit hyödyntävät muiden bakteerien aikaansaamia käymistuotteita (Vanhatalo, 2010a, s. 23). Ne ovat täten sekundäärisiä pötsibakteereja. Pötsissä syntyvä kaasu koostuu 30 – 40 % metaanista CH_4 , jota tuottavat hiilidioksidin pelkistämiseen vedyn avulla erikoistuneet metanogeeniset bakteerit. (Sjaastad ym., 2010, s. 568)

2.3.2 Alkueläimet

Bakteerien jälkeen alkueläimet muodostavat toiseksi suurimman pötsimikrobiryhmän. Ne ovat kooltaan 20 – 200 μm eli huomattavasti suurempia kuin bakteerit. (Vanhatalo, 2010a, s. 23) Kokonsa vuoksi lukumäärältään pienempi alkueläinryhmä voi olla mikrobimassaltaan lähes yhtä suuri bakteerien kanssa (taulukko 1).

Yksisoluisia alkueläimiä on pötsi-verkkomahassa useita eri tyyppisiä. Ne ovat anaerobisia ja suurin osa niistä on ripsieläimiä. Värekarvojen avulla ripsieläimet liikkuvat aktiivisesti pötsinesteessä. Niiden elinikä on suhteellisen pitkä (taulukko 1), mutta kiinnittymällä rehupartikkeleihin ne pystyvät viipymään pötsi-verkkomahassa tarpeeksi kauan lisääntyäkseen. Pötsin ripsieläimet tuottavat haihtuvia rasvahappoja (kappale 2.4), laktoosia, hiilidioksidia sekä vetyä kaikenlaisesta kasvimateriaalista. (Sjaastad ym., 2010, s. 568 – 569) Ne nielevät ja sulattavat solunsisäisesti pieniä rehupartikkeleita, tärkkelysjyväsiä sekä bakteereja (Vanhatalo, 2010a, s. 23; Sjaastad ym., 2010, s. 569). Alkueläimet suosivat tärkkelyksen ja sokerin käyttämistä ravintonaan, minkä vuoksi niitä on eniten pötsinesteessä ruokinnan

sisältäessä suuria määriä viljaväkirehua ja vähiten kuidun määrän ollessa suuri (Hutjens, 2003, s. 8; Sjaastad, 2010, s. 569).

2.3.3 Sienet

Pötsimikrobiston pienin eliöryhmä koostuu sienistä. Vaikka ne muodostavatkin vain pienen osan pötsi-verkkomahan mikrobimassasta, ne ovat tärkeässä roolissa kasvukuitujen sulatuksessa. (Vanhatalo, 2010a, s. 23; Sjaastad ym., 2010, s. 569) Sienet lisääntyvät pötsi-verkkomahassa siimahäntäisten itiöiden avulla. Itiöt pystyvät kulkemaan vapaasti pötsinesteessä. Ne kiinnittyvät ligniiniä sisältäviin rehukuituihin ja työntävät niihin sienirihmastoja, joka erottaa kuituja toisistaan. Kuitujen erottamisen arvellaan lisäävän pinta-alaa, johon kuituja hajottavat pieneliöt voivat takertua. Noin 24 h tunnin kuluttua sienet muodostavat uusia itiöitä. Kasvamalla ligniinipitoisissa materiaaleissa sienet valikoivat kasvualustoja, jotka yleensä viiptyvät pitkään pötsi-verkkomahassa ja mahdollistavat lisääntymisen. Sienistä koostuva biomassa on suurimmillaan olkea ja muita ligniinipitoisuudeltaan korkeita rehuja syöville eläimillä. (Sjaastad ym., 2010, s. 569)

2.4 Pötsin tuottamat ravintoaineet

Mikrobien hiilihydraatteja hajottaessa syntyy haihtuvia rasvahappoja, jotka ovat bakteerien aineenvaihdunnassa muodostuvia lopputuotteita ja kuona-aineita. Märehtijälle haihtuvat rasvahapot ovat sen tärkein käytettävissä oleva energianlähde. (Sjaastad ym., 2010, s. 570) Haihtuvat rasvahapot täyttävät 50 – 70 % lypsylehmän energiantarpeesta. Loppu täyttyy ohutsuolessa loppuun sulavien rasvojen, pötsissä sulamattomien hiilihydraattien sekä valkuaisen avulla. (Hulsen & Aerden, 2014, s.7)

Mikrobien ravinnokseen käyttämä hiilihydraatin tyyppi vaikuttaa siitä muodostuviin rasvahappoihin (taulukko 2). Niistä propionihappo, etikkahappo ja voi-happo ovat kaikista yleisimpiä ja muodostavat yhdessä 95 % haihtuvista rasvahapoista. Niiden lisäksi pötsissä muodostuu myös isovoi-, kaproni-, valeriaana- ja isovaleriaanahappoja. (Vanhatalo, 2010a, s. 26)

Taulukko 2. Pötsikäymisessä muodostuvat haihtuvat rasvahapot (Hutjens, 2003, s. 8; Vanhatalo, 2010a, s. 28 – 29)

Hiilihydraattiryhmä	tyyppi	pötsihajoamisen nopeus	pötsissä hajoaa %	muodostunut rasvahappo
Solunsisällysaineet	sokerit tärkkelys	hyvin nopea nopea	100 70-90	propionihappo, voihappo
Solunseinäaineet	selluloosa hemiselluloosa pektiini	hidas keskinkertainen nopea	90-100 100	etikkahappo, voi-happo etikkahappo, propionihappo

Pötsissä syntyvistä rasvahapoista 60 – 70 % koostuu etikkahaposta, 15 – 20 % propionihaposta ja 10 – 15 % voihaposta (Vanhatalo, 2010a, s.26). Ruokinnan tärkkelyspitoisuutta nostamalla rasvahappojen kokonaismäärä ja propionihapon suhteellinen osuus kasvavat (Sjaastad ym., 2010, s. 570).

Korkeatuottoisilla lypsylehmillä pötsi-verkkomahassa syntyy 6 – 8 kg haihtuvia rasvahappoja vuorokaudessa. 70 – 80 % syntyvistä rasvahapoista imeytyy pötsin seinämien läpi. Näin ollen suurin osa ruokasulan rasvahapoista on jo imeytynyt sen päätyessä satakertaan, jossa pötsissä imeytymättömistä haihtuvista rasvahapoista imeytyy 60 – 70 %. Loppu haihtuvien rasvahappojen imeytymisestä tapahtuu ohutsuolessa. (Sjaastad ym., 2010, s. 575) Haihtuvat rasvahapot imeytyvät pötsistä verenkiertoon ja kulkevat sen kautta maksaan, maitorauhasiin, rasva- sekä muihin kudoksiin. (Hutjens, 2003, s. 8)

Haihtuvien rasvahappojen lisäksi naudalle merkittävä ravintoaine ja erityisesti lypsylehmälle tärkein valkuaisen lähde on pötsissä muodostuva mikrobivalkuainen. Pötsimikrobien lisääntyessä syntyvät mikrobisolut muodostavat mikrobimassaa, jota kulkeutuu ruokasulan mukana sulatettavaksi ohutsuoleen. Pääosin korkealaatuista valkuaista sisältävän mikrobimassan aminohappokoostumus on hyvä maidontuotantoa varten. (Vanhatalo, 2010a, s. 26)

Pötsimikrobit kykenevät myös syntetisoimaan B- sekä K-vitamiineja (Jaakola, Rinne & Nousiainen, 2010, s. 15)

2.5 Pötsin olosuhteiden vaikutus pötsin toimintaan

2.5.1 Pötsin sisältö vaikuttaa pötsin liikkeisiin ja mikrobitoimintaan

Pötsin toimintaan vaikuttavat sekä fyysiset että kemialliset olosuhteet. Pötsi-verkkomahan liikkeet saavat alkunsa etumahojen seinämien aistisoluista. Ne lähettävät tietoa aivorungon integraaliseen keskukseen, minkä ansiosta käskysignaalit kulkeutuvat kiertäjähermojen kautta etumahojen sileään lihaskudokseen. (Sjaastad ym., 2010, s. 563 – 564)

Pötsin ja verkkomahan seinämissä on kahdenlaisia aistinsoluja. Venytykseen reagoivien aistinsolujen hermopäätteet ovat kytkeytyneet pötsin seinämien sileään lihaskudoksen soluihin. Ne sisältävät reseptoreita, jotka aktivoituvat seinämän jännittymisestä ja niitä esiintyy eniten pötsissä ruokatorven aukon alueella sekä märekourussa, kuten myös verkkomahan seinämissä, pötsipilareissa ja atriumissa. Nämä aistinsolut reagoivat sekä seinämien venymiseen että seinämien sileään lihaskudoksen supistuksiin. (Sjaastad ym., 2010, s. 563)

Edellä kuvattujen aistinsolujen lisäksi etumahoissa on aistinsoluja, joilla on sekä mekaanisia että kemiallisia reseptoreita. Niiden hermopäätteet sijaitsevat pötsin epiteelin pohjakerroksessa ja niiden sisältämät reseptorit reagoivat sekä mekaanisiin että kemiallisiin ärsykkeisiin. Näitä ovat pötsin sisällön pH, osmolaarisuus ja rasvahappojen pitoisuudet. Epiteelireseptorien aktivoituminen rajoittaa etumahojen liikkeitä. (Sjaastad ym., 2010, s. 563)

Lievä etumahojen seinämien laajentuminen esimerkiksi syömisen aikana aktivoi venymiseen reagoivat aistinsolut, mikä vuorostaan stimuloi liikettä ja märehtimistä. Pötsin liikkeiden suurempi tiheys ja märehtiminen nopeuttavat reupartikkeleiden hajoamista ja rehun kulkeutuminen etumahojen läpi nopeutuu. Toisaalta pötsi-verkkomahan seinämien selkeästi normaalia voimakkaampi laajentuminen esimerkiksi lehmän puhaltuessa stimuloi epiteelin aistinsoluja voimakkaasti, rajoittaen pötsi-verkkomahan liikkeitä. Liikkeitä rajoittaa myös pötsin pH:n putoaminen alle viiden. Tämän voi aikaansaada suuren viljamäärän syönti ja siitä johtuva runsas rasvahappojen tuotanto. (Sjaastad ym., 2010, s. 563 – 564)

Pötsin pH vaikuttaa suoraan pötsissä tapahtuvaan pötsikäymiseen. Pötsikäymisessä tuotetut haihtuvat rasvahapot laskevat pötsin pH:ta. Tämä tapahtuu jokaisen syödyn rehuannoksen jälkeen. (Hulsen & Aerden, 2014, s.13) Pötsin normaali pH voi vaihdella välillä 5,5 – 6,8. Kuitua hajottavien bakteerien kasvu suosii pH:ta välillä 6,0 – 6,8, kun taas tärkkelystä ja sokeita hajottavat bakteerit kasvavat parhaiten pH:n ollessa 5,5 – 6,0. Jotta eri mikrobiryhmien optimaalinen kasvu on mahdollista ja vastaavasti käymisen lopputuotteina syntyneiden rasvahappojen määrät ja suhteet ovat myönteisiä naudan hyvinvoinnin kannalta, pötsin pH:n tulisi pysyä lähellä tai olla korkeampi kuin 6,0. (Hutjens, 2003, s. 11) Vakaa pH hillitsee myös maitohapon syntymistä pötsissä. Maitohappo on muihin haihtuviin rasvahappoihin verrattuna kymmenen kertaa happamampaa ja sen imeytymistahti vain 5 – 10 % muiden rasvahappojen imeytymistahdista, minkä vuoksi se on merkittävä tekijä hapanpötsin synnyssä (kappale 4.1). Maitohappoa tuottavat suurin osa happamuutta hyvin kestävästä bakteereista. Hitaan imeytymistahdin vuoksi maitohappoa voi kertyä pötsiin nopeasti pH:n laskiessa tarpeeksi alas. Maitohapon kertyminen laskee pötsin pH:ta entisestään, mikä saa kuitua sulattavien mikrobien toiminnan ja rehun sulatuksen heikkenemään. (Hulsen & Aerden, 2014, s.13, Sjaastad ym., 2010, s. 576)

2.5.2 Fysiologiset keinot happamuuden säätelyyn

Naudalla on luonnollisesti keinoja rajoittaa ja hillitä rasvahappojen happamoittavaa vaikutusta pötsissä. Jokaisen syöntikerran ja märehtimisen aikana tapahtuva syljen erityys on tärkeässä roolissa, sillä sylki kykenee neutraloimaan rasvahappoja. Se sisältää happamuutta hyvin puskuroivia bikarbonaatteja ja fosfaatteja. (Vanhatalo, 2010a, s. 22) 500 kg painava ja maidontuotannossa oleva lypsylehmä erittää vuorokaudessa 100 – 200 litraa

sylkeä. Märehtijän syljen pH on noin 8,2 eli lievästi emäksinen. Tämä johtuu nimenomaan korkeasta bikarbonaattipitoisuudesta (taulukko 3). Märehtijän runsaan syljentuotannon seurauksena etumahoihin saapuu huomattavia määriä puskuroivaa nestettä. Sylki neutraloi noin kolmanneksen etumahoissa muodostuneista hapoista. Yksimahaisiin verrattuna märehtijän sylki sisältää runsaasti bikarbonaatteja ja fosfaatteja (taulukko 3). Märehtijöillä syljen koostumukseen ei vaikuta yhtä voimakkaasti sen eritystahti kuin yksimahaisilla, joilla syljen eritystä stimuloitaessa pitoisuudet muuttuvat. (Sjaastad ym., 2010, s. 548, 550)

Syljentuotantoon vaikuttavat märehtijällä myös etumahoissa sijaitsevat aistinsolut, jotka ovat hyvin herkkiä pH:n muutoksille (Sjaastad ym., 2010, s. 551)

Taulukko 3. Yleistetyt arvot syljen ionikoostumukselle yksimahaisilla ja märehtijöillä, yksikkö mmol/L. (Sjaastad ym., 2010, s. 550)

Ioni	Yksimahaiset		
	Peruskoostumus	Stimuloitu	Märehtijät
Na ⁺	10	100	160
K ⁺	10	10	5
Cl ⁻	10	40	15
HCO ₃ ⁻	5	60	90-140
Fosfaatti	pieniä määriä	pieniä määriä	5-35

Tärkein pötsin pH:ta oikealla tasolla pitävä mekanismi on haihtuvien rasvahappojen imeytyminen pötsin seinämän läpi. Tähän vaikuttavat eniten pötsipapillien pinta-ala ja seinämäsolujen aineenvaihduntakapasiteetti. (Hulsen & Aerden, 2014, s.13) Pötsipapillien koko ja vastaavasti imeytymispinta kasvavat samalla, kun rasvahappojen määrä lisääntyy. Niiden kasvu vaatii kuitenkin useita viikkoja aikaa. (Rautala, 1996, s. 56) Saara Liespuun (2018, s. 32) kirjoittamassa artikkelissa kehityspäällikkö Merja Holma kertoo, että ummessa olevalla lehmällä happoja imeyttävä papillipinta voi olla kooltaan vain puolet siitä, mitä se on lypsykaudella. Hulsenin ja Aerdenin (2014, s. 13) mukaan pötsipapilleilla voi kestää 2-3 viikkoa kasvaa täyteen mittaansa poikimisen jälkeen. Imeytymisen maksimitohon saavuttaminen voi kestää sitäkin pidempään, jopa kahdeksan viikkoa.

Rasvahappojen kuljetus pötsiepiteelin läpi on täysin passiivista. Sitä ohjaa etumahojen sisällön ja seinämän solunulkoisen nesteen suuri väkevyysero. Kvantitatiivisten tutkimusten perusteella noin puolet etumahoissa tuotetuista haihtuvista rasvahapoista imeytyy yksinkertaisen diffuusion avulla. Loput imeytyvät solukalvon läpi passiivisesti fasilitoituineen diffuusion kautta eli kuljettajamolekyylin avulla, missä ne vaihtuvat HCO₃⁻-ioneihin.

Kyseiset bikarbonaatti-ionit osallistuvat pötsin pH:n stabiloimiseen neutralisoimalla noin puolet rasvahappojen tuotannossa syntyvistä H⁺-ioneista. Lähes kaikki loput neutraloi syljen bikarbonaatti. (Sjaastad ym., 2010, s. 576)

3 REHUJEN JA RUOKINNAN VAIKUTUS PÖTSIN TOIMINTAAN

3.1 Karkearehut

Märehtijän ruokinnassa kasvien korsista ja/tai lehdistä, mahdollisesti osittain myös siemenistä koostuvat karkearehut ovat välttämättömiä pötsin hyvinvoinnin kannalta. Se, kuinka paljon karkearehun kuidulla on vaikutusta pötsin toimintaan, riippuu rehun kuitupitoisuudesta, kuitukomponenttien osuuksista ja ominaisuuksista sekä rehun partikkelikoosta syönteihetkellä. (Jaakkola, 2010a, s. 60) Rehukasvuston korjuuaika vaikuttaa näihin ominaisuuksiin siten, että vanhemman kasvuston sulavuus on heikompi ja kuitupitoisuus suurempi (Rinne & Sairanen, 2010, s. 16). Nurmi-rehuilla sulamisen heikentyminen on seurausta lähinnä kasvin kukintaan ja siementen muodostamiseen valmistautuessa muodostuvasta sekundärisestä soluseinästä, joka sisältää pötsissä sulamatonta ligniiniä. Lehmän märehminen auttaa hajottamaan lignifioitunutta kuituainesta, mikä tehostaa pötsikäymistä. (Nousiainen, Niskanen, Kainulainen & Toivakka, 2010, s. 72) Pötsin sisällä ligniinin purkamiseen osallistuvat pötsimikrobiston sienet (kappale 2.2.3).

Kuitu mahdollistaa kelluvan kerroksen muodostumisen ja ylläpidon pötsissä sekä lisää märehijän pötsitoimintaa ja rehun pureskelua. Kelluvan kerroksen muodostumiseksi rehuartikkelien on oltava yli 0,8 cm pitkiä ja pötsin liikkeitä stimuloidakseen yli 2,5 cm pituisia. (Hulsen & Aerden, 2014, s. 38) Mikäli kuitua on rehuannoksessa liian vähän tai se on silputtu liian lyhyeksi, se vastaavasti ohentaa kelluvaa kerrosta sekä vähentää syljen eritystä ja märehmistä rehun hajoamisen vaatiessa vähemmän pureskelua. Liian suuri kuitumäärä ja huono sulavuus taas rajoittavat märehijän syönteitä sekä ravintoaineiden saantia. Hyvin sulavan karkearehun kuituvaikutus on pienempi kuin huonosti sulavan. (Jaakkola, 2010a, s. 60)

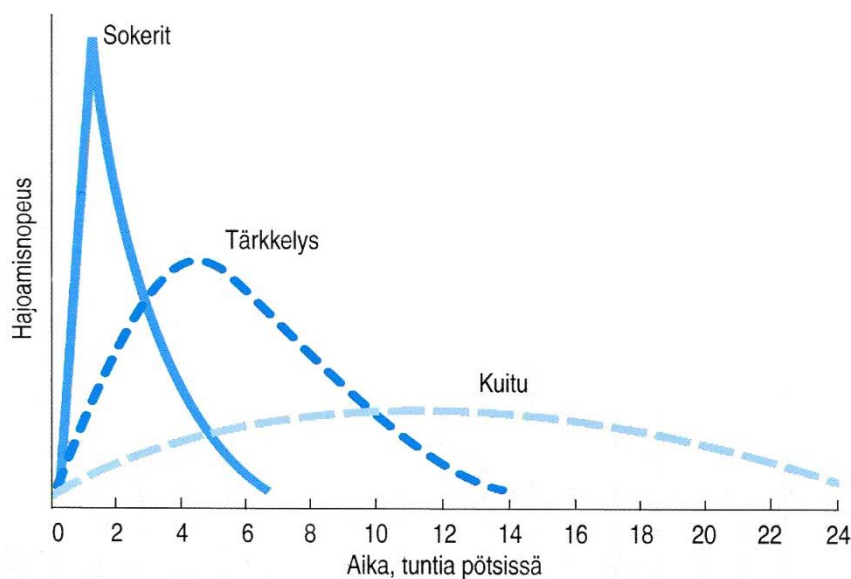
Kuidun määrä karkearehuissa lasketaan laboratorioanalyysien avulla (Hulsen & Aerden, 2014, s. 28). Koska väkirehujen partikkelikoko on pieni ja vastaavasti kuituvaikutus karkearehuja huonompi, väkirehuja ei oteta huomioon laskettaessa lehmän riittävää kuidun saantia. Sen sijaan lasketaan, kuinka monta prosenttia koko rehuannoksen kuiva-aineesta muodostuu karkearehuista peräisin olevasta kuidusta (NDF). (Jaakkola, 2010a, s. 60) Lypsylehmille riittävä määrä on yleensä 25 % (Rinne & Sairanen, 2010, s.18).

Kyseisen soluseinien kokonaismäärän kertovan NDF:n lisäksi kuidun laadun ja ominaisuuksien paremmaksi hahmottamiseksi karkearehuista voidaan arvioida happodetergenttikuitu ADF ja happodetergenttiligniini ADL. Näistä ADF tarkoittaa soluseinien hitaasti sulavia ja ADL käytännössä sulamattomia osia. Jälkimmäisellä on suurin vaikutus pötsin liikkeisiin ja kelluvaan kerrokseen. (Hulsen & Aerden, 2014, s. 38)

Kun halutaan tarkastella karkearehujen energia-arvoa ruokinnassa, on tiedettävä, kuinka suuri osa rehuista sulaa ruuansulatuskanavassa. Karkearehuista voidaan määritellä D-arvo, joka kuvaa rehun kuiva-aineen sisältämän sulavan orgaanisen aineksen pitoisuutta rehussa. D-arvo ilmoitetaan yksikössä g/kg ka. Lypsylehmien säilörehuvaltaisessa ruokinnassa säilörehun D-arvon tulisi olla noin 680 – 700 g/kg ka. Mitä matalampi D-arvo on, sitä vähemmän lehmä kykenee syömään säilörehua. D-arvoltaan heikossa rehussa on myös vähemmän energiaa sekä ravintoaineita, mikä puolestaan pienentää maitotuotosta. (Rinne & Nousiainen, 2010, s. 76 – 77.)

3.2 Väkirehut

Väkirehut koostuvat pääosin jyivistä ja siemenistä tai niiden osista. Myös sokerijuurikasta ja perunaa jalostavan teollisuuden sivutuotteita käytetään teollisten väkirehujen raaka-aineena. Väkirehujen sisältö muodostuu pääasiassa tärkkelyksestä, sokerista, valkuaisaineista ja rasvasta. Niiden ohella käytettävissä on myös vaihtoehtoja, jotka sisältävät runsaasti kuitua. (Jaakkola, 2010b, s. 39) Kuitupitoisiin karkearehuihin verrattuna varsinkin solunsisällysaineita runsaasti sisältävien väkirehujen sulatus pötsissä tapahtuu nopeammin (kuva 4).



Kuva 4. Erialaisten hiilihydraattien hajoaminen pötsissä. (Vanhatalo, 2010b, s. 27)

Nopeasti hajoavilla rehuilla naudalle voidaan tarjota enemmän ravintoaineita päivässä kuin karkearehuilla, koska ne hajoavat pötsissä nopeammin ja antavat tilaa uudelle rehulle. Runsas rasvahappotuotanto myös kasvattaa pötsin kykyä imeyttää niitä. Liian nopean pötsikäymisen seurauksena voi olla hapanpötsi. Myös rehun kulku ruuansulatuskanavan läpi voi nopeutua liian voimakkaan pötsikäymisen takia, mikä huonontaa rehun hyväksikäyttöä (Hulsen & Aerden, 2014, s. 37).

Viljojen kanssa on huomioitava, että jyvien pinta on rikottava jauhamalla, murskaamalla tai litistämällä ennen ruokintaa. Pienen partikkelikoon vuoksi lehmä ei pureskele jyviä tarpeeksi, että mikrobit pystyisivät hajotamaan niiden kuoren ennen jyvien kulkeutumista eteenpäin pötsistä. (Jaakkola, 2010b, s. 71) Liian hienojakoinen vilja aiheuttaa räjähdysmäisen rasvahappojen tuotannon ja voimakkaan pH:n laskun pötsissä, koska jauhatus lisää rehun ja täten mikrobien käytössä olevaa pinta-alaa.

Nykyisen, runsaasti maitoa tuottavaksi jalostetun lypsylehmän ruokinnassa väkirehut ovat välttämättömiä. Karkearehu ei ole koostumukseltaan aina sellaista, että lehmä voisi syödä sitä tarpeeksi täyttääkseen koko energiantarpeensa. Tarpeeksi energiaa sisältävä säilörehu voi olla kuitupitoisuudeltaan liian matala pötsin hyvinvoinnin kannalta ja vastaavasti kuitupitoisuudeltaan sopiva rehu voi rajoittaa syöntiä siinä määrin, ettei energiatarve täyty. Niin ikään karkearehun valkuaispitoisuus voi olla maidontuotannon kannalta liian matala, jolloin puutetta täytyy paikata väkirehuilla.

3.3 Pötsipuskurit

Lehmän omia keinoja puskuroida happamuutta pötsissä voidaan tukea lisäämällä rehun sekaan pötsipuskureita. Näitä ovat esimerkiksi natriumbikarbonaatti ja magnesiumoksidi. Kyseisten puskurien toiminta perustuu hapon sitomiseen ja niiden avulla voidaan estää liian nopea pH:n lasku pötsissä syönnin jälkeen. (Hulsen & Aerden, 2014, s. 38) Natriumbikarbonaatti eli sooda on yleisin käytetyistä pötsipuskureista. Paras vaikutus saadaan lisäämällä sitä rehunseoksen joukkoon, jolloin saanti on tasaista päivän mittaan. (Hissa, 2018, s. 54) Hutjens (2003, s. 38 – 39) suosittelee magnesiumoksidin käyttöä yhdessä natriumbikarbonaatin kanssa.

Myös elävää hiivaa voidaan käyttää pötsipuskurina. Sitä suositellaan käytettävän varmistamaan pötsin hyvinvointia. (Hutjens, 2003, s. 38 – 39) Mardenin, Julienin, Monteilsin, Auclairen, Moncoulonin ja Bayourthen (2008, s. 3534) julkaiseman tutkimuksen mukaan elävän hiivan puskuroidutkyky syönnin jälkeen oli samanvertainen natriumbikarbonaatin kanssa. Heidän suorittamassaan kokeessa korkeatuottoisilla lehmillä oli väkirehupainoiteinen ruokinta. Hiiva tehosti kuidun sulatusta ja sen puskuroiduvaikutus perustui maitohapon kertymisen ehkäisyyn. Tämä oli seurausta maitohappoa kuluttavien bakteerien kasvun ja aktiivisuuden tehostumisesta. Vertailuna natriumbikarbonaatin käytöllä ei huomattu olevan selkeitä vaikutuksia maitohappoa kuluttaviin bakteereihin.

Edellä mainittujen lisäksi pötsipuskurina on havaittu toimivan myös Lithothamnion calcareum -merilevän kalkkiutuneet jäännökset, joita pystytään keräämään Irlannin ja Islannin rannikoilta. Puskuria kutsutaan tunnetummin nimellä Acid Buff. Kyseinen puskuri koostuu pääosin kalsiumkarbonaa-

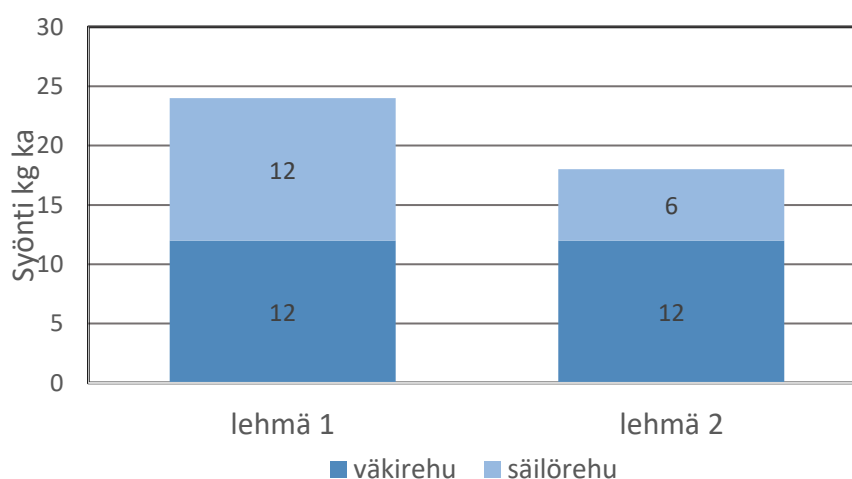
tista, joka esiintyy puskurissa kolmessa erilaisessa kidemuodossa: kalsiitina (65 %), aragoniittina (23 %) ja vateriittina (12 %). Hunajakennomainen rakenne saa aikaan puskurin sisältämien mineraalien hitaan vapautumisen happamassa ympäristössä. (Cruywagen, Taylor, Beya & Calitz, 2015, s. 5507)

Hulsenin ja Aerdenin (2014, s. 38) mukaan lehmän kunnollinen märehminen ja sen edesauttama, runsas syljentuotanto kuuluvat lehmän ensisijaisiin keinoihin säädellä happamuutta pötsissä. Tämän vuoksi puskureiden käyttö on aiheellista vain riskitilanteissa, kuten rehujen aiheuttaman happamuusriskin aikana ruokinnan ollessa esimerkiksi väkirehupainoiteinen.

3.4 Erillis- ja seosrehuruokinta

Lypsykarjojen ruokintamenetelmät voidaan jakaa kahteen päätyyppiin, erillis- ja seosrehuruokintaan. Erillisruokinnassa väkirehut jaetaan erikseen lehmäkohtaisesti tuotoksen mukaan. Karkearehua suositellaan tarjottavan lehmille vapaasti. (Kyntäjä, Karlström, Rinne, Nousiainen, Palva & Nokka, 2010, s. 46) Pötsin toiminnan kannalta väkirehun kokonaismäärän lisäksi on merkitystä, kuinka usein ja kuinka suurina kerta-annoksina lehmä saa väkirehunsä. Hutjens (2003, s.12) neuvoo rajoittamaan yksittäisen väkirehuannoksen korkeintaan 2,3 kiloon kuiva-ainetta.

Erillisruokinnassa lehmiä pystytään ruokkimaan väkirehuilla yksilön tarpeen mukaan, mutta karkearehun syönti on yksilöstä itsestään kiinni. Tämän vuoksi ruokinnan todellinen väkirehuprosentti voi vaihdella saman määrän väkirehua saavien lehmien välillä huomattavasti. Kyntäjä ym. (2010, s. 46) havainnollistavat tätä vertaamalla kahden lehmän syöntiä vuorokaudessa (kuva 5).



Kuva 5. Väkirehujen ja karkearehujen välisen suhteen vaihtelu erillisruokinnassa. Molempien lehmien väkirehuannos on 12 kg ka. (Kyntäjä ym., 2010, s. 46)

Kumpikin lehmä saa 12 kg ka väkirehua. Lehmä 1 syö yhtä paljon säilörehua kuiva-ainekiloissa, jolloin väkirehujen osuus syödyistä kuiva-aineesta on 50 %. Toisella lehmällä säilörehun syönti jää kuuteen kiloon kuiva-ainetta, jolloin väkirehujen osuus syödyistä kuiva-aineesta on 68 %, selkeästi korkeampi kuin lehmällä 1.

Seosrehu- eli aperuokinnassa karkearehu ja väkirehu sekoitetaan keskenään, jolloin tavoitteena on tasalaatuinen seos kaikista seosrehun rehu-komponenteista. (Kalström, 2016, s. 28) Tiloilla voidaan tehdä joko osittain täydennettävä seosrehu PMR (Partially Mixed Ratio) tai täysseos TMR (Total Mixed Ratio). TMR sisältää nimensä mukaisesti kaikki päivittäiseen ruokintaan kuuluvat rehuaineet ja sopii tiloille, joilla eläimet pystytään jakamaan useaan ruokintaryhmään tuotosvaiheen tai iän mukaisten tarpeiden mukaisesti. PMR-osaseos suunnitellaan karjan keskimääräisen tuotostason mukaan, jolloin enemmän energiaa ja ravintoaineita vaativat korkeatuottoisemmat lehmät saavat väkirehutäydennyksen joko rehukioskista, väkirehuruokkijasta, lypsyasemalta tai lypsyrobotilta. (Ikävalko, 2016, s. 43; Hulsen & Aerden, 2014, s. 44 – 45)

Pötsin kannalta seosrehu on lehmälle hyvä ruokintatapa, koska lehmä saa samanaikaisesti sekä karkea- että väkirehuja. Tämä tasaa pH:n vaihtelua pötsissä, sillä tavoitteena on saada lehmä syömään rehua tasaisesti pieninä annoksina pitkin päivää. (Kyntäjä ym., 2010, s. 47; Kalström, 2016, s.28)

Seosrehun lehmän terveyttä edistävällä piirteellä on myös haasteensa, sillä yksinkertainen idea vaatii toimiakseen koko ketjun onnistumisen reseptin suunnittelusta seoksen tekoon ja jakoon. Seoksessa käytettävän säilörehun kuiva-ainepitoisuus on yksi ratkaisevista tekijöistä. Väki-rehun osuus kuiva-aineesta pyritään pitämään vakiona, minkä vuoksi säilörehun määrää seoksessa on säädettävä, jos käytössä oleva karkearehu tai sen kuiva-ainepitoisuus muuttuu. (Kyntäjä ym., 2010, s. 47) Väki-rehuprosentin lisäksi koko seoksen kuiva-ainepitoisuus on huomioitava, sillä liian kuiva seos vähentää syöntiä ja mahdollistaa rehukomponenttien lajittumisen seoksessa. Lajittumisen seurauksena lehmät pystyvät valikoimaan pöydälle korsirehun läpi siivilöityneitä väkirehuja enemmän kuin seosta tehdessä on suunniteltu, eikä tavoite tasaisesta rehuseoksesta täyty. Kuiva seos altistaa lehmiä pötsihäiriöille, kuten hapanpötsille. (Ikävalko, 2016, s. 44) Seosrehun kuiva-ainepitoisuuden tulisi Ikävalkon (2016, s. 44) mukaan olla 30 – 35 %. Kyntäjän ym. (2010, s. 47) mukaan seosrehun normaali kuiva-ainepitoisuus saa olla hieman korkeampi, 35 – 45 %.

Sekä erillis- että seosrehuruokinnassa on oleellista, että kaikki yksilöt saavat syötyä rehuja riittävästi. Suunnitellun ja toteutuvan ruokinnan tulisi olla sellainen, että ruokintatyyppistä riippumatta nauta pystyy syömään hyvälaatuista rehua tarpeensa mukaisesti. Kirsi Vartian (2018, s. 55) mukaan on muistettava, että parsinavetoissa eläinten ryhmittely on tärkeää, jotta

naapurin väkirehuannokseen pitkällä kielellään ylettävä lehmä ei tee haittaa itselleen tai naapurilleen; vähemmälläkin pärjäävä pystyy rajoittamaan sitä enemmän tarvitsevan lehmän energian- ja valkuaisensaantia. Piha-toissa on syytä huomioida, että vaikka ruokintapöydällä näyttää vielä olevan syötävää, saattaa jäljellä olevasta rehusta olla jo syöty ravitsevimmat palat ja väkirehut, jolloin viimeisenä syömään tuleva arka tai kipeä yksilö ei saa suunnitelman mukaista rehua.

3.5 Vesi

Hulsenin & Aerdenin (2014, s. 6) mukaan lypsylehmä juo päivässä 4 – 5 litraa vettä jokaista syömäänsä rehun kuiva-ainekiloa kohti. Jaakkola ym. (2010, s. 15) vertaavat kulutusta tuotetun maidon määrään, jolloin heidän mukaansa yhtä tuotettua maitokiloa kohti lehmä kuluttaa 3 - 4 kg vettä elintoimintojen ylläpitoon ja tuotantoon. Juomaveden lisäksi lehmä saa vettä rehuista, jolloin päivittäinen veden kokonaiskulutus on kuiva-ainekiloa kohti 4-6 kiloa. Kulutukseen vaikuttaa ympäristön lämpötila sekä eläin-kohtainen vaihtelu. Päivässä lehmä käy mielellään juomassa 15-20 kertaa yhden juomishetken kestäessä minuutin verran (Kaltsröm, 2016, s. 29)

Veden vapaa ja riittävä saanti tukee lehmän kuiva-aineen syöntiä, sillä silloin lehmä pystyy tuottamaan tarpeeksi sylkeä rehun kostutukseen. (Jaakkola ym., 2010, s. 15) Sylki lisää pötsinesteen määrää, puskuroi pötsin pH:n laskua sekä mahdollistaa urean kierrättämisen lehmän elimistössä valkuaisen tuotantoon pötsissä. (Hulsen & Aerden, 2014, s.6)

4 PÖTSIN TOIMINTAHÄIRIÖT AIKUISELLA MÄREHTIJÄLLÄ

4.1 Äkillinen hapanpötsi

Mikäli väkirehuihin tottumaton lehmä pääsee lyhyessä ajassa syömään suuren annoksen runsaasti tärkkelystä ja sokeria eli nopeasti sulavia hiilihydraatteja sisältäviä rehuja, seurauksena on voimakas pötsikäyminen ja pötsin happamoituminen. (Rautala, 1996, s. 61). Tällöin pötsin pH voi olla jopa 4 – 5 (Thomas, 2009, s. 165). Hapanpötsin oireita ovat lehmän kipeys ja syömättömyys. Tilanteen edetessä lehmä voi mennä nopeasti jalattomaksi ja jopa menehtyä. (Hissa, 2018, s. 52)

Pötsin pH:n laskeminen ruokintaa seuraavien 2 – 3 tunnin aikana on normaalia, koska haihtuvia rasvahappoja muodostuu suurempia määriä, kuin mitä pötsin seinämä pystyy niitä imeyttämään. Lasku tapahtuu siitä huolimatta, että syljen bikarbonaatti pystyy neutraloimaan lähes kaikki muodostuneet vetyionit. (Sjaastad ym., 2010, s. 572) Lypsylehmillä riskialttein aika sairastua hapanpötsiin on lypsykauden alussa. Umpikauden ruokintaan sopeutuneella pötsillä seinämän kyky imeyttää haihtuvia rasvahappoja ei ole huipussaan (kappale 2.5.2).

Äkillisen hapanpötsin tapauksessa nopeasti alle viiden laskenut pötsin pH aiheuttaa maitohappoa tuottavien bakteerien määrän ja vastaavasti maitohapon tuotannon kasvun, sillä maitohappoa tuottavat bakteerit kestävät happamuutta paremmin. Pötsin pH:n ollessa normaali etumahoissa on bakteereja, jotka muuntavat maitohappoa haihtuviksi rasvahapoiksi. Nämä mikrobit eivät kuitenkaan kestä liian matalaa pH-tasoa, minkä vuoksi ne eivät pysty vähentämään hyvin happamissa oloissa kertyvää maitohappoa. (Sjaastad ym., 2010, s. 572)

Pötsin voimakkaan happamoitumisen seurauksena pötsin seinämä vaurioituu. Seinämän vaurioituminen heikentää rehun hyväksikäyttöä, minkä vuoksi lehmällä voi kestää kuukausia ennen kuin se saavuttaa uudestaan täyden tuotantonsa. (Hulsen & Aerden, 2014, s. 72) Korkea maitohappopitoisuus aiheuttaa pötsiseinämän tulehtumisen ja sen pintakerros alkaa irrota. Tulehtunut pötsiseinämä edesauttaa aineiden imeytymistä sen läpi. (Blowey, 1999, s. 170) Tämän vuoksi hapanpötsin aikana ruuansulatuskanavasta imeytyy tavallista suurempia määriä happoja, mukaan lukien erittäin hapanta maitohappoa, mikä voi johtaa koko elimistön happo-emäs tasapainon häiriintymiseen. Pötsin liikkeet heikkenevät ja vakavassa tilanteessa lakkaavat kokonaan pötsiepiteelin happamuuteen reagoivien aistinsoijujen aikaansaamien refleksien vuoksi (kappale 2.5). Maitohapon ja rasvahappojen suuret määrät pötsissä saavat aikaan osmoottisen veden virtauksen verestä pötsiin, minkä vuoksi hapanpötsin vaivaamat eläimet kärsivät myös nestehukasta. (Sjaastad ym., 2010, s. 572) Veden imeytyminen verenkierrosta laskee myös eläimen verenpainetta, mikä yhdessä verenkiertoon imeytyvien yhdisteiden kanssa voi saada aikaan shokkitilan (Blowey, 1999, s. 170).

Vakavissa tapauksissa hoito koostuu emäksisten nesteiden pumpaamisesta pötsiin suurissa määrin. Ääripään tapauksissa voi olla tarpeen, että pötsistä poistetaan niin paljon hapanta sisältöä kuin on mahdollista ja korvataan se normaalilla pötsin sisällöllä. (Sjaastad ym., 2010, s. 572) Tämä on tarpeen, mikäli pötsinestettä neutraloivan hoidon jälkeen naudan tila heikkenee entisestään eikä se märehdi, tai mitään pötsin liikkeisiin viittaavia merkkejä ei ole havaittavissa seuraavan 24 tunnin aikana. Toimenpidettä suorittamaan tarvitaan eläinlääkäri. Pötsin sisältöä voidaan poistaa kirurgisesti viiltämällä suuri aukko vasempaan kylkeen ja poistamalla pötsin sisältöä käsin. Vaihtoehtoisesti pötsiin voidaan asettaa suun ja ruokatorven kautta tai ihon läpi paksu muoviletku, jonka avulla pötsin sisältö huuhdellaan ulos vedellä. (Blowey, 1999, s. 398) Hulsen ja Aerden (2014, s. 72) tarjoavat pidempiaikaiseksi hoidoksi väkirehujen vähentämistä ruokinnassa siihen asti, että lehmä on toipunut täysin terveeksi. Tämän jälkeen väkirehua tulisi lisätä asteittain takaisin ruokintaan.

4.2 Piilevä hapanpötsi

Nimensä mukaisesti piilevä hapanpötsi on huomattavasti hankalampi havaita kuin äkillinen hapanpötsi. Oireet sekä seuraukset ovat vaihtelevampia eivätkä yhtä rajuja. (Hissa, 2018, s. 53) Piilevässä hapanpötsissä pötsin sisältö on hapan, mutta ei jatkuvasti. (Hulsen & Aerden, 2014, s. 72) Pötsin pH:n pysyminen alle 5,6 – 5,8 yhteensä vähintään kolme tuntia vuorokauden aikana on yksi piilevän hapanpötsin kehittymisen merkeistä. (Kajava ym., 2014, s. 40) Lehmällä voi esiintyä vaihtelua syöntimäärässä, märehimisajan kutistumista, märepalojen suusta pudottelua tai sonnan löysyyttä. (Hissa, 2018, s. 53)

Piilevän hapanpötsin seurauksena maidon rasvapitoisuus alenee johtuen pötsissä muodostuvien rasvahappojen määrien ja keskeisten suhteiden muutoksesta. Syöntimäärien vaihtelun ja kuidun sulatuksen heikkenemisen seurauksena propionihappoa muodostuu maitorasvasynteessissä tarvittavia etikka- ja voi-happoja enemmän, mikä saa maidon rasvapitoisuuden madaltumaan. (Hissa, 2018, s. 54; Blowey, 1999, s. 172)

Rasvapitoisuuden lisäksi madaltuu usein myös tuotos ja kuidun sulatus sekä rehun hyväksikäyttö heikkenevät. Lehmä ei tällöin saavuta täyttä tuotantopotentiaaliaan, vaikka se ei olekaan näkyvästi sairas. Piilevä hapanpötsi heikentää myös eläimen vastustuskykyä ja lisää ketoosin, sorkkasairauksien ja utareterveysongelmien riskiä. (Hissa, 2018, s. 53; Kajava ym., 2014, s. 40)

Hapanpötsin seurauksena maidon rasva:valkuaisuhde voi olla <1, sillä rasvapitoisuus laskee alle valkuaispitoisuuden. Tämä ei kuitenkaan ole luotettava mittari pidemmällä aikavälillä, sillä pitkittyneenä pötsin happamuus saa alenevan syönnin ja energiansaannin ohella myös valkuaispitoisuuden laskemaan. Rasva:valkuaisuhde voi tällöin olla jälleen normaali, mutta

matalat pitoisuudet kielivät silti epänormaalista syönnistä. (Hissa, 2018, s. 54)

4.3 Emäksinen pötsi

Hapanpötsin lisäksi naudat pötsi voi kärsiä myös emäksisyydestä. Emäksinen pötsi voi olla seurausta hyvin runsaasta valkuaisen saannista, minkä taustalla voi olla suuret valkuaisrehuannokset tai poikkeuksellisen korkea nurmirehun raakavalkuaispitoisuus. (Rautala, 1996, s. 63) Merkitystä on erityisesti helppoliukoisen raakavalkuaisen ja yksinkertaisten tyrellisten aineiden määrällä, sillä mikrobit hajottavat ne nopeasti ammoniakiksi, joka emäksisenä yhdisteenä nostaa pötsin pH-tasoa. Seurauksena on ammoniakkiin ylituotanto. (Pyörälä & Tiihonen, 2005, s. 4) Jos rehuannoksessa on lisäksi vähän sokeria ja tärkkelystä, mikrobeilla ei riitä energiaa muodostuneen ammoniakkiin hyödyntämiseksi mikrobivalkuais-synteetissä. (Rautala, 1996, s. 63; Vanhatalo, 2010b, s.31).

Anu Backin (2010) mukaan Bradford P. Smith (2002) kuvailee erilaisen tilanteen emäksisen pötsin esiintymiselle. Smithin mukaan nauta voi kärsiä emäksisestä pötsistä pitkän syömättömyysjakson tai yksinkertaisen pötsihäiriön jälkeen. Taustalla voi olla myös naudat syömä suuri määrä huonosti hajoavaa karkearehua. Kuvattujen tilanteiden seurauksena voi olla pötsikäymisen ja haihtuvien rasvahappojen tuotannon vähenemisen siinä määrin, etteivät ne pysty neutraloimaan emäksistä sylkeä. Pötsinesteen pH kohoaa välille 7,0 – 7,5. Yleisimpiä oireita pH-tason muuttuessa lievästi ovat naudat pötsiliikkeiden heikkeneminen, syömättömyys, ripuli ja lihasheikkous sekä mahdollisesti toistuva puhaltuminen.

Emäksinen pötsi voidaan varmistaa eläinlääkärin pötsin seinämän läpi ottamasta pötsinäytteestä. Tukena käytetään esitietoja ruokinnasta. Emäksistä pötsiä hoidetaan hapattamalla se esimerkiksi runsaasti laimennetulla maitohapolla tai usean litran annoksella ruokaetikkaa. (Rautala, 1996, s. 63)

4.4 Puhaltuminen

Naudat puhaltuessa pötsin normaalisti runsaasti tuottama kaasu ei pääse poistumaan pötsistä. Lievä puhaltuminen näkyy ainoastaan vasemman nälkäkuopan pullistumisena ja pitkälle edennyt puhaltuminen molempien kylkien laajenemisena (Rautala, 1996, s. 63) Hoitamaton, akuutti puhaltuminen alkaa edetessään painaa naudat keuhkoja, aiheuttaen hengitysvaikeuksia ja verenkierron häiriintymistä. Lopulta nauta tukehtuu. (Thomas, 2009, s. 167; Rautala, 1996, s. 64)

Puhaltumiset jaetaan vaahtokäymisen ja vapaan kaasun aiheuttamiin tapauksiin. Vaahtokäymisessä on kyse pötsinesteen viskositeetin kasvusta,

minkä seurauksena kaasu jää pieninä kuplina sen sekaan ja saa aikaan ta-saisen vaahdon. Nauta ei kykene poistamaan vaahtoa kaasun tavoin röyh-täilemällä ja voimakas vaahtokäyminen voi peittää ruokatorven aukon pöt-sissä, estäen myös vapaan kaasun poistumisen. (Thomas, 2009, s. 166 – 167; Scott, Penny & Macrae, 2011, s. 72)

Rautalan (1996, s.64 - 65) mukaan vaahtokäyminen on tyypillisesti seu-rausta nautojen syömästä nuoresta, apilapitoisesta ja mahdollisesti osit-tain jäisestä laitumesta. Thomas (2009, s. 167 - 168) sekä Blowey (1999, s. 395) mainitsevat yleisesti nurmipalkokasvit sekä erityisesti sinimailasen vaahtokäymisen aiheuttajaksi laitumilla. Thomaksen mukaan nautojen lasku puhaltumiselle altistavalle lohkolle nälkäisinä lisää riskiä, koska ne voivat syödä paljon liian nopeasti. Kosteus ja jäänyt rehu vähentävät pu-reskelun tarvetta, minkä seurauksena vaahtoa luonnollisesti hajottavaa sylkeä kulkeutuu pötsiin vähemmän. Kasvin kasvuvaiheella on merkitystä sen vuoksi, että esimerkiksi aikaisessa kasvuvaiheessa oleva, kuitupitoisuusdeltaan matala ja hyvin sulava sinimailanen hajoaa pötsissä nopeasti. Tätä seuraava mikrobiaalisen aktiivisuuden purkaus tuottaa runsaasti kaasua ja bakteriaalista limaa, jotka saavat aikaan vaahdon.

Vaahtokäymispuhaltumisen taustalla voi olla myös viljan suuri osuus rehu-annoksesta. Tällöin vaahto on seurausta tiettyjen, runsaasti limaa tuotta-vien bakteerien määrän kasvusta pötsissä. (Thomas, 2010, s. 167; Rautala, 1996, s. 65) Tilanne on tavallisin lihasonneilla, jotka ovat voimakkaalla vä-kirehuruokinnalla ja sitä todennäköisempi, mitä hienommaksi sonneille syötettävä vilja on jauhettu (Philip ym., 2011, s. 72).

Vapaan kaasun aiheuttamat puhaltumiset voivat johtua joko ruokatorven tukkeutumisesta tai pötsin kaasua poistavien supistusten lakkaamisesta. Tukkeuman voi aiheuttaa esimerkiksi lehmille syötetyt kokonaiset juurek-set tai hedelmät, kuten perunat tai omenat. Myös ruokatorvea painava kasvain tai paise voi olla syyllinen. Tukkeuman huomaa selkeimmin siitä, että pötsiin päätyvätön sylki valuu suusta ulos (Blowey, 1999, s. 395; Rau-tala, 1996, s. 65) Pötsin liikkeiden lakkaamista kutsutaan myös pötsiatoni-aksi ja se voi johtua pötsiin johtavien hermoratojen vaurioitumisesta, liit-tyä hapanpötsiin tai olla naulan tai ruuansulatuskanavan häiriöiden aiheut-tama toissijainen oire. (Blowey, 1999, s. 395)

Puhaltumisen aiheuttamasta tekijästä riippumatta hoidon tavoite on saada kaasu poistumaan pötsistä. Jos kyseessä on vaahtokäymisen aiheut-tama puhaltuminen, lehmälle annostellaan vaahtoa hävittävää ainetta, joka voi olla lääkettä tai sen puuttuessa puoli litraa juoksevassa muodossa olevaa rasvaa, esim. ruokaöljyä. Vaahdon hajotessa tarpeeksi lehmä pystyy jälleen poistamaan vapaata kaasua tavallisesti röyhtäilemällä. (Rautala, 1996, s. 65) Tätä voidaan käyttää ensiapuna myös, mikäli puhaltumisen syytä ei tiedetä. Mikäli lehmä ei pysty nielemään annosteltua ainetta, ky-seessä on todennäköisesti tukos. Tukoksen poistamiseen tarvitaan yleensä eläinlääkärin apua. (Blowey, 1999, s. 395)

Jos puhaltuminen on ennen sen huomaamista edennyt niin pitkälle, että huonovointinen eläin yrittää käydä makuulle, kaasu on päästettävä ulos pötsistä kyljen kautta ennen eläinlääkärin saapumista. Tämä suoritetaan lyömällä pötsipistin tai sen puutteessa puukko nahkan läpi pötsiin vasemman nälkäkuopan kohdalta. Vaahtokäymistilanteessa vaahto saattaa tukkia pötsipistimen, kun taas puukolla tehdyn viillon täytyy olla tarpeeksi pitkä, jotta vaahto pääsee poistumaan. Vapaan kaasun poistoon pelkkä pistin tai pienempi aukko riittää. Onnistuneen kaasunpoiston jälkeenkin tarvitaan vielä eläinlääkärin haavan hoitoon, sillä pötsin sisältö saastuttaa haavan reunoja ja saa aikaan suuren tulehtumisriskin. (Rautala, 1996, s. 65; Blowey, 1999, s. 395 – 396)

5 KOE pH-TASOA SÄÄTELEVÄN REHUN VAIKUTUKSESTA

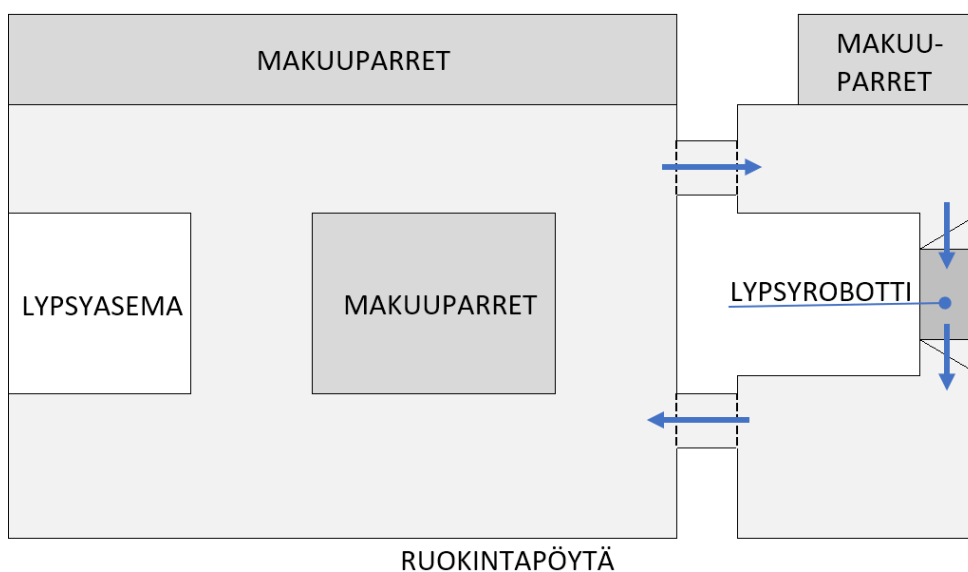
5.1 Tavoitteet

Kokeen tavoitteena oli selvittää, voidaanko pötsin happamuutta puskuroivan rehun avulla nostaa pötsin pH:ta ja vähentää pH-vaihteluita, erityisesti ehkäisemällä pH:n laskua pötsissä. Lisäksi kokeessa seurattiin mahdollisia muutoksia lehmien robotilta saatavan väkirehun syönnissä, maitomäärissä ja maidon pitoisuuksissa, märehetmisaktiivisuudessa sekä elopainossa.

5.2 Toteutus

Rehukoe tehtiin HAMK Mustialan navetalla, joka on vuonna 2015 käyttöön otettu viileäpihatto. Navetalla lypsy tapahtuu ensisijaisesti Lely Astronaut A4 lypsyrobotilla. Lypsävät on jaettu 2-3 ryhmään: yksinkertaisimmillaan lypsävien ryhmään ja takakiertoon. Näiden lisäksi väliaidoilla voidaan muodostaa asemalypsyryhmä. Suurimmassa ryhmässä lehmillä on vapaa kierto, eli ne pystyvät vapaasti kulkemaan syömään, robotille ja makuulle.

Takakierto tarkoittaa robotin taakse jäävää aluetta, jossa lehmillä on osittain ohjattu kierto (kuva 6.) Suurin osa ruokintapöydästä ja makuuparsista ovat takakierrossa samassa tilassa. Lehmät kulkevat robotille pienen koomatilaa läpi, minne ne pääsevät yksisuuntaisen portin kautta. Koomatilassa on kolme makuupartta. Robotti ohjaa lehmät takaisin takakiertoon asetusten mukaisesti muuttamalla poistumistien edessä olevaa porttia. Tämä ohjaa lehmät karsinaan, jossa on kaksi vesikuppia sekä lukkoaita ruokintapöydällä. Tarpeen mukaan eläimet voi lukita lukkoparpeen esimerkiksi hoitotoimenpiteiden tai siemennyksen ajaksi. Karsinasta lehmät pääsevät takaisin makuuparsien luo yksisuuntaisen portin läpi.



Kuva 6. Takakierron pohjapiirros, ei mittakaavassa. Lehmien kulkusuunta on merkitty nuolilla.

Rehukoe alkoi marraskuussa 2018 ja päättyi helmikuussa 2019. Koelehmät siirrettiin sopeutumisjaksolla takakiertoon, koska takakierron ape pystytettiin jakamaan erillisenä muiden lypsävien appeesta, vaikka aperesepti oli sama. Koerehu lisättiin takakierron apekomponentiksi. Annostus oli 60 g lehmää kohti päivässä, minkä mukaan järjestelmä annosteli rehua koko ryhmälle.

Aluksi tavoitteena oli pitää kaikki lehmät jaksoissa ensin koerehulla, jonka jälkeen ne olisivat siirtyneet kontrolliryhmään ja takaisin koerehulle. Tällä tavalla ryhmäkoko olisi saatu maksimoitua (6 lehmää). Käytännössä oli hankala saada varmistettua ruokinnan muuttumattomuus riittävän pitkälle aikavälille ja saada olosuhteet ryhmien välillä tasavertaisiksi. Kokeen alussa koejärjestelyjä päädyttiin muuttamaan siten, että koeryhmä ja kontrolliryhmä pystyttiin järjestämään samanaikaisesti. Tällä järjestelyllä ryhmäkoko kuitenkin puolittui vastaavasti (3 lehmää + 3 lehmää). Navetan ruokintajärjestelyjen vuoksi ryhmien välillä oli eroa appeen jakokertojen välillä, minkä vuoksi kontrolliryhmä mahdollisesti hyötyi useammasta appeenjakokerrasta. Kun osa boluksista lakkasi toimimasta (kappale 5.3), muodostettujen ryhmien tiedot jäivät vajaiksi ja tulokset olivat pääasiassa havaintoja yksittäisistä lehmistä. Tämän vuoksi yksi lehmistä siirrettiin vielä kontrolliryhmästä takaisin koerehulle, jotta kokeesta saataisiin hieman enemmän tuloksia.

Seuranta kokeen aikana keskittyi eCow-bolusten keräämään tietoon pötsin pH:n ja lämpötilan vaihteluista. Lisäksi lehmien aktiivisuus- ja tuotostietoja ladattiin T4C-järjestelmästä säännöllisesti. Koelehmistä lähetettiin myös kerran viikossa maitonäyte, josta analysoitiin rasva, valkuainen ja urea. Lypsyrobotin automaattinen maitonäytteenottolaite Lely Shuttle otti koelehmiltä maitonäytteet pääsääntöisesti perjantaisin. Tietoja kerättiin erilliseen Excel-taulukkoon suuren tietomäärän käsittelyn helpottamiseksi.

5.2.1 Koe-eläimet

Eläinten valinnassa keskityttiin hiljattain, eli 1-3 viikkoa ennen kokeen alkua poikineisiin lehmiin (taulukko 4). Puolet lehmistä olivat rodultaan ayrshire- ja puolet holsteinkarjaa. Lehmien tuotoskausien määrä jakautui tasaisesti kerran, kaksi ja kolme kertaa poikineisiin. Lehmien paino oli keskimäärin 666 ± 49 kg.

Kokeen alussa lehmillä on herumiskausi, jolloin maidontuotanto kasvaa selkeästi ja väkirehuprosentti nousee vastaavasti. Vaativat olosuhteet altistavat lehmiä pötsihäiriöille. Poikimisesta seuraavat kolme kuukautta lehmillä on muun muassa riski kärsiä piilevästä hapanpötsistä (Hulsen & Aerden, 2019, s. 72).

Taulukko 4. Rehukokeeseen valitut lehmät.

korvanumero	nimi	rotu	poikimavpm.	tuotoskausi	bolusnro
1424	Namutyttö	ay	28.9.2018	1	3439
1383	Matriisi	hol	9.9.2018	2	3440
1388	Milka	hol	22.9.2019	2	3441
15	Neyla	ay	22.9.2018	1	3442
1309	Lucy	ay	22.9.2018	3	3443
1300	Lamella	hol	18.9.2018	3	3444

Lehmien elopainot, päivätuotokset, maidon pitoisuudet ja robotilta saama väkirehu kokeen alussa on esitetty taulukossa 5 sopeutumisjaksoksi tarkoitettun viikon keskiarvoina. Kokeen tuloksia käsittelevissä kappaleissa bolusten lisäksi lehtiin viitataan taulukon tavoin boluksen numerolla ja lehmän nimellä tulosten esittämisen yksinkertaistamiseksi.

Taulukko 5. Kokeeseen valittujen lehmien elopaino, tuotostiedot ja robotilta saama väkirehumäärä kokeen alussa.

vko 45 lehmä	Elopaino kg	Maitomäärä kg/pv	Rasvapit. %	Valkuaispit. %	R. väkirehu kg/pv
3439 Namutyttö	767	30,4	4,66	2,92	7,0
3440 Matriisi	629	32,3	3,26	3,40	7,1
3441 Milka	625	42,2	4,18	3,30	8,0
3442 Neyla	598	32,6	3,77	3,24	6,6
3443 Lucy	616	54,2	3,23	3,14	8,3
3444 Lamella	703	48,4	3,36	3,11	8,3

5.2.2 Perusruokinta kokeen aikana

Navetalla ruokinta on hoidettu osin automatiikan avulla. Tietokoneella on ohjelmoitu jokaisen ruokintaryhmän omat seosrehuseptit, jotka pohjautuvat rehuanalyysien perusteella tehtyihin ruokintasuunnitelmiin. Navetassa on rehukeittiö, jonne käytettävät karkearehut kootaan omiin pisteisiinsä. Automatisoidun rehunsekoitusjärjestelmän koura noukkii määrätyt rehut ja lastaa ne automaattiseen Vector-apevaunuun. Väkiarehut ja mahdolliset täydennysrehut lisätään rehuannokseen myös automaattisesti. Vector jakaa rehun pöytään ruokintaryhmän ja sen koon mukaan säädetysti 2-5 kertaa päivässä. Ruokintapöydällä kulkiessaan se myös työntää rehua lähemmäs lehtiä ja skannaa jäljellä olevan rehun määrää.

Kokeen aikana rehunjako tapahtui lypsylehmillä 2-5 kertaa päivässä. Lypsäville Vector teki PMR-osaseoksen, jonka lisäksi lehmät saivat väkirehua robotilta lypsyn yhteydessä. Ruokinnassa karkearehuina olivat käytössä apilapitoiset toisen sadon säilörehu laakasiilosta ja kolmannen sadon paalisäilörehu. Väkiarehuna seosrehuun kuului tilaseos, joka koostui ohrasta,

kaurasta, härkäpavusta sekä valkuaistiivisteestä. Ruokinnan pohjana olleet karkearehujen rehuanalyysit sekä tilaseoksen koostumus on esitetty taulukossa 6. Karkearehujen suurin ero oli niiden kuiva-ainepitoisuudessa, sillä paalisäilörehu oli huomattavasti märempää kuin laakasiilorehu. Analyysien perusteella paalirehussa on tapahtunut jonkin verran virhekäymistä, sillä suositus hyvin säilyneen rehun haihtuvien rasvahappojen pitoisuudelle on alle 20 g/kg ka (SeiLab, n.d.)

Kokeen aikana lehmien seosrehuseptissä karkearehun kuiva-aine koostui noin 70 % siilorehusta ja 30 % paalirehusta. Rehuseoksen kuiva-ainepitoisuus oli noin 390 g ka/kg ja väkirehujen osuus rehuseoksen kuiva-aineesta noin 40 %. Seosrehun lisäksi keskimääräisen lehmän ruokinta sisälsi robotin annostelemat 5 kg väkirehua ja 0,2 kg energiapitoista, nestemäistä täydennysrehua päivää kohti.

Suunnitellun ruokinnan, jossa on mukana sekä robotin väkirehut että pöytään jaettu seosrehu, koostumus ja rehuarvot on esitetty taulukossa 6. Ruokinnassa karkearehun kuitu 237 g/kg ka jää hieman alle vähimmäissuosituksen 250 g/kg ka (Kajava ym., 2014, s. 40). Väkirehujen osuus ruokinnan kuiva-aineesta oli noin puolet (51 %).

Taulukko 6. Kokeen aikana kalenteriviikoilla 47 - 4 käytettyjen karkearehujen rehuanalyyseistä lasketut keskiarvot sekä tilaseoksen koostumus.

Säilönnällinen laatu	yksikkö	2. sato laakasiilo	3. sato pyöröpaali	tilaseos
pH		4,84	4,15	
Ammoniakkityppi	g/kg N	0	56	
Maito- ja muurahaishappo	g/kg ka	14	79	
Haihtuvat rasvahapot	g/kg ka	5	23	
Sokeri	g/kg ka	126	36	42
tärkkelys	g/kg ka			394
Koostumus	yksikkö			
Kuiva-aine	g/kg	486	186	874
Raakavalkuainen	g/kg ka	121	174	190
Kuitu (NDF)	g/kg ka	527	405	
D-arvo	g/kg ka	653	662	736
Sulamaton kuitu (iNDF)	g/kg ka	91	70	
Tuhka	g/kg ka	73	86	
Rehuarvot	yksikkö			
ME (energia-arvo)	MJ/kg ka	10,4	10,6	12,2
OIV	g/kg ka	81	89	111
PVT	g/kg ka	2	44	35
Syönti-indeksi		114	100	143
ME-indeksi		106	100	

Taulukko 7. Suunnitellun ruokinnan koostumus ja rehuarvot viikoilla 47 - 4.

Koostumus		
Kuiva-aine	g/kg	462
Raakavalkuainen	g/kg ka	167
Väkirehun osuus ka:sta	%	51
D-arvo	g/kg ka	706
Karkearehun kuitu	g/kg ka	237
sokeri + tärkkelys	g/kg ka	256
Rehuarvot		
ME (energia-arvo)	MJ/kg ka	10,7
OIV	g/kg ka	99
PVT	g/kg ka	25

5.2.3 Pötsin happamuutta puskuroiva rehu

Koerehu oli koostumukseltaan jauhemainen ja lehmäkohtainen annos oli 60 g/pv. Ohjeellinen siirtymäaika rehun annostelun aloituksesta mahdollisten vaikutusten näkymiseen oli noin 1-2 viikkoa. Ennen kokeen alkua koerehua oli tarkoitus annostella koelehmille yksilökohtaisesti neljä kertaa päivässä väkirehuihin sekoitettuna. Tällä tavalla olisi varmistettu, että koeyksilöt saavat päivittäisen annoksen koerehua. Ennen koerehun syötön aloittamista koerehun maittavuutta testattiin kokeeseen kuulumattomilla lehmillä. Kuivana rehu erottui viljan seasta ja jäi ämpäriin pohjalle syömättömänä, ilmeisesti oudon maun tai huonon maittavuuden vuoksi. Viljan lisäksi rehua kokeiltiin sekoittaa myös nestemäisiin väkirehuihin, kuten melliin ja siirappiin. Seosta kokeiltiin syöttää 15 kokeeseen kuulumattomalle lehmälle ämpäristä. Niistä vain muutama suostui syömään seoksen, minkä jälkeen rehun lehmäkohtaisesta annostelusta ja syötöstä toteutusideana luovuttiin. Koerehu päätettiin sekoittaa koeryhmän seosrehuun. Tämä vastasi enemmän koerehun käyttöä seosrehuruokintaa käytävillä tiloilla. Yksi ruokintajärjestelmän erikoisrehuille tarkoitetuista pienemmistä rehusuppiloista täytettiin koerehulla ja Vector annosteli sitä ryhmäkoon mukaisesti tekemiinsä seosrehuannoksiin takakierto-ryhmälle.

5.2.4 Pötsin pH-tason seuranta

Kokeen aikana lehmien pötsin pH-tason muutoksia seurattiin koelehmille syötetyillä pötsin pH:ta ja lämpötilaa vuorokauden ympäri mittaavilla anturiboluksilla (kuva 7). Bolukset on valmistanut englantilainen eCow Devon Limited -yritys. Bolus on painotettu siten, että saavuttuaan pötsi-verkkomahaan se ei etene ruuansulatuskanavassa pidemmälle ja pysyy pystyasennossa metallipää alaspäin. Boluksen numero ja sisältö ovat suojassa kovan hartsikuoren alla. Anturit sijaitsevat alaosan metallipäädysssä, jonka reiät mahdollistavat anturien pääsemisen kosketuksiin pötsinesteen kanssa. Pötsiolosuhteissa bolusten käyttöikä on 90 – 150 vuorokautta, eli

maksimissaan noin viisi kuukautta. Tämän jälkeen boluksen happamuutta mittaava anturi syöpyy rikki ja boluksen tallentamat pH-tasot nousevat epätavallisen korkeiksi.



Kuva 7. eCow anturibolus.

Bolusten tietojen luku tapahtui niiden mukana tulleen älypuhelimien ja eCow Dongle -lukulaitteen avulla (kuva 8). Puhelimeen oli asennettu Hator-sovellus, jonka avulla tietojen lataaminen suoritettiin. Ohjelman käyttökieli on englanti ja perusnäkyvä tarjoaa neljä toimintoa: tietojen lataus, boluksen kalibrointi, asetukset sekä ladatun tiedon esikatselu. Ennen käyttöönottoa bolukset aktivoitiin lämmittämällä ne +32 asteeseen, minkä jälkeen niihin muodostettiin yhteys tietojen lataamista varten yksi kerrallaan toimivuuden varmistamiseksi. Samalla jokaiseen bolukseen syötettiin lehmän korvanumero, joka merkittiin myös boluksen suojakoteloon bolusten sekoittumisen välttämiseksi. Alkuvalmistelujen jälkeen kokeeseen valitut lehmät otettiin kiinni lukkoparteen ja bolukset syötettiin niille bolusannostelijan avulla.



Kuva 8. Tietojen lataamiseen käytettävä eCow Dongle ja Hathor-sovellus.

Bolukset mittasivat pötsin pH-tasoa sekä lämpötilaa, tallentaen keskiarvon 15 minuutin jaksolta. Näin vuorokaudessa kertyi 96 lukuarvoa kummastakin. Bolusten sisäinen muisti riitti 28 vuorokauden datan tallentamiseen, minkä jälkeen uusi tieto tallentuu vanhan päälle. Tietojen menetyksen ehkäisemiseksi tietoja ladattiin laitteista tavallisesti kerran viikossa. Boluksen sijainnin vuoksi tiedot pystyttiin lataamaan Hathor-sovelluksen ja lukulaitteen avulla parhaiten lehmän rintalastan alapuolelta. Latauksen aikana lehmä on turvallisinta kytkeä päästään kiinni lukkoparteen (kuva 9) tai ajaa se makuuparteen ja asettaa köysi taakse, jottei lehmä pystynyt poistumaan latauksen aikana paikalta. Välillä lataus suoritettiin myös lehmän ollessa lypsyllä robottikopissa. Lataamisen jälkeen sovellus pyysi lupaa ladata tiedot verkkoon, josta niitä pystyi tarkastelemaan eCow-nettisivulta vastaavan Hathor-sovelluksen avulla. Sivustolla voi valita, minkä boluksen tietoja ja miltä aikaväliltä niitä halutaan tarkastella. Tämän jälkeen tiedot esitetään kaaviona (kappale 5.2.2). Tiedot voi myös ladata excel-muodossa nettisivulta. Ladattuja tietoja pystyi myös esikatselemaan sovelluksella suoraan älypuhelimella latauksen jälkeen.

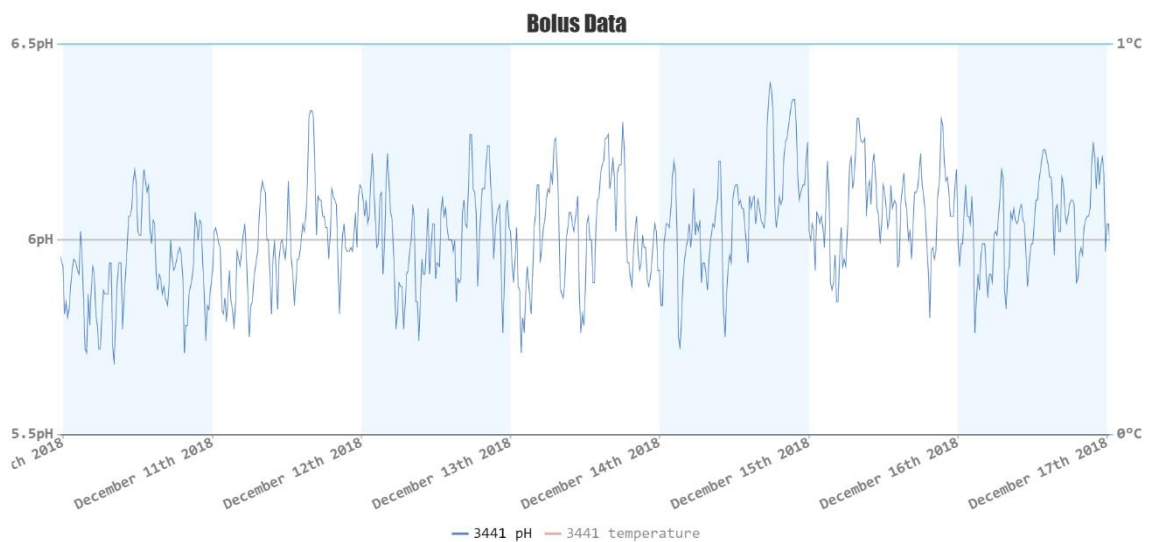


Kuva 9. Boluksen signaalin etsiminen tietojen latausta varten lehmän ollessa kytkettynä lukkoparpeen. (Manni, 2018)

5.2.5 Kerätyn tiedon tarkastelu Hathor-sovelluksella

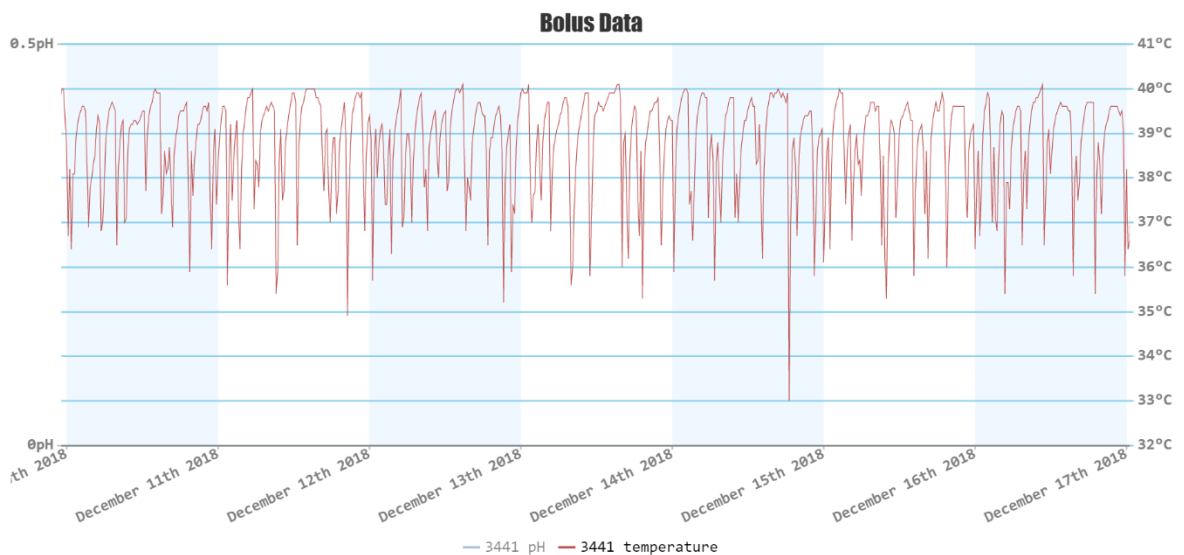
Kerätyn tiedon tarkastelu oli mahdollista laitevalmistajan nettisivustolla. Tarkasteltavaksi pystyi valitsemaan yhden tai useamman boluksen tiedot, säätämään aikaväliä sekä valitsemaan, mitä tietoja esitetyllä kaaviolla oli näkyvissä. Valittujen tietojen perusteella sivusto loi kaavion, jossa pystyi edelleen muokkaamaan näkyvillä olevia tietoja sekä tarkasteltavaa ajanjaksoa. Haluamansa näkymän pystyi tallentamaan omalle laitteelle kuvatielästä.

Kuvassa 10. on esimerkki lehmäkohtaisesta viikkodatasta. Näkyviin on valittu boluksen 3441 tallentama tieto pH-tasosta aikavälillä 10.-16.12.2018. Kyseisellä lehmällä keskiarvo viikon pH-tasolle on 6,05, mikä näkyy kuvassa käyrän pysyttelyssä lähellä pH 6:ttä. Samanaikaisesti pystytään valitsemaan esitettäväksi pötsin lämpötilaa kuvaava käyrä. Jos valitaan kerralla useampi bolus tarkasteltavaksi, kaavioon piirtyy myös ryhmän keskiarvo pH-tasoista.



Kuva 10. Kerätyn pH-datan katselu sivustolla.

Pötsin pH-tason lisäksi pystytään tarkastelemaan pötsin lämpötilaa vastavina 15 minuutin keskiarvoina (kuva 11). Lämpötilan kautta pystytään seuraamaan yksilön juomiskäyttäytymistä, sillä lyhytaikainen ja jyrkkä lasku lämpötilassa korreloi pötsiin saapuneen kylmän veden kanssa (eCow Ltd, n.d.)



5.3 Laitteiston toimintahäiriöt ja ruokinnan muutokset kokeen aikana

Kokeen alkuvaiheessa virheelliset asetukset Hathor-sovelluksessa johtivat ensin viiden päivän mittaiseen tietojen menetykseen neljältä lehmältä ja myöhemmin usean tunnin pituiseen tietojen menetykseen kaikilta lehmiltä. Virheelliset asetukset johtuivat älypuhelimien käyttöliittymän kielen

vaihtamisesta englannista suomeksi, mikä vaikutti puhelimen tapaan tulkitä numerosarjoja erilaisen desimaalijärjestelmän vuoksi. Seurauksena sovelluksen asetukset vaihtuivat siten, että 15 minuutin välein tapahtuvan tiedon tallennuksen sijaan bolus tallensi tietoa joka minuutti. Tarkoitettua tiheämmän tiedonkeruun vuoksi bolusten muisti täyttyi vajaassa kolmessa päivässä ja vanhaa dataa pyyhkiytyi alta pois. Virhettä ei huomattu ensimmäisellä viikolla tiheän tiedon latauksen vuoksi, mutta siirryttäessä kerran viikossa tapahtuvaan lataukseen ongelma ilmeni seuraavalla latauskeralla. Ladatut tiedot näyttivät keskiarvot 15 minuutin ajalta kuten kuuluisikin, mikä hankaloitti ongelman paikallistamista ennen kuin se saatiin selvitettyä valmistajan kanssa. Tietojen menetys ehti kuitenkin toistua ennen syyn selviämistä, mikä johti toiseen, lyhyempään tietokatkokseen. Tämän vuoksi pH-mittaukset eivät ole käyttökelpoisia kolmelta ensimmäiseltä koeviikolta.

Kokeen oltua käynnissä vajaan kaksi kuukautta kahden lehmän bolukset lakkasivat toimimasta. Viikolla 50 opinnäytetyön tekijä latasi kaikilta lehmiltä tiedot onnistuneesti. Seuraavina viikkoina opinnäytetyön tekijä oli toisella paikkakunnalla töissä ja toinen henkilö vastasi bolusten tietojen lataamisesta. Tietojen lataus uusittiin seuraavalla viikolla 51, jolloin bolukseen 3444 ei saatu yhteyttä. Kyseisen boluksen tietojen lataus oli ollut kokeen alusta asti hitaampaa ja signaalin löytyminen hankalampaa, kuin muilla boluksilla. Bolusten latausvälin maksimin tiedettiin kuitenkin olevan 28 vuorokautta ja opinnäytetyön tekijän oli määrä palata jatkamaan latausten suorittamista ennen määrääjän ylittymistä, joten yhdestä epäonnistuneesta latauskerrasta ei huolestuttu. Viikon 2 alussa opinnäytetyön tekijä palasi lataamaan tiedot ensimmäisen kerran tauon jälkeen. Boluksen 3444, johon ei saatu joulukuussa yhteyttä, lisäksi yhteyttä ei tällöin saatu myöskään bolukseen 3443. Jälkimmäisen boluksen kanssa tietojen lataaminen oli siihen asti sujunut aina ongelmitta. Ongelmaa selvitettiin jälleen laitevalmistajan kanssa käymällä latausprosessi yksityiskohtaisesti kuvailtuna läpi. Lukuistenkaan latausyritysten jälkeen yhteyttä ei saatu muodostettua, minkä seurauksena boluksien todettiin lakanneen toimimasta.

Tulosten arviointiin käytettävän tiedon määrään vaikuttivat myös ruokinnassa tapahtuneet muutokset. Ensimmäisen viikon mittausten tuli olla pohjamateriaalina yksilöiden lehmäkohtaisille pH-käyrille ja happamuuden vaihteluille. Ruokinnassa rehuseoksen väkirehuna käytetty tilaseos muuttui uuden viljaväkirehuseoksen tullessa käyttöön, jonka myötä myös ruokinnan väkirehuprosentti vaihtui viikon 46 lopulla 46 %:sta 51 %:iin ja säilörehujen keskinäiset suhteet muuttuivat. Tämän vuoksi kaikkien lehmien yksilökohtaisista pH-tasoista koejakson ruokinnalla ennen koerehun annostelua ei ole mittaustuloksia.

6 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELO

6.1 Pötsin pH-tason seurannan tulokset

Taulukossa 8. on esitetty lehmien ryhmittely rehukokeen aikana. Koerehun syöttö alkoi viikon 46 alussa 13.11.2018. Kokeen aikana tapahtuneiden tiedonmenetysten ja ruokinnanmuutosten vuoksi kolmen ensimmäisen viikon ajalta ei ole vertailukelpoisia ja/tai täydellisiä pH-mittaustuloksia. Lisäksi bolukset 3444 ja 3443 lakkasivat toimimasta vastaavassa järjestyksessä viikkojen 50 ja 51 jälkeen. Jälkimmäinen tietojen menetys aiheutti sen myöhäisen huomaamisen vuoksi kontrolli- ja koerehuryhmien epätaisaisuuden. Seurauksena ryhmien välisten erojen vertailu hankaloitui ja tarkastelussa keskitytään mahdollisiin yksilökohtaisiin muutoksiin pH-tasoissa.

Taulukko 8. Lehmien ryhmittely kokeen aikana. S = sopeutumisjakso, T = takakierto/koerehu, K = kontrolli, x = bolus lakkaa toimimasta. Ajat, joilta ko. lehmältä ei ole täysin käyttökelpoisia pH-mittaustuloksia on värjätty sinisellä.

nimi	bolus nro.	korvanro.	viikko												
			45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	
Namutyttö	3439	1424	S	T	T	T	T	K	K	K	K	K	K	K	K
Matriisi	3440	1383	S	T	T	T	T	K	K	K	K	K	T	T	
Milka	3441	1388	S	T	T	T	T	K	K	K	K	K	K	K	
Neyla	3442	15	S	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
Lucy	3443	1309	S	T	T	T	T	T	T	Tx	T	T	K	K	
Lamella	3444	1300	S	T	T	T	T	T	Tx	T	T	T	K	K	

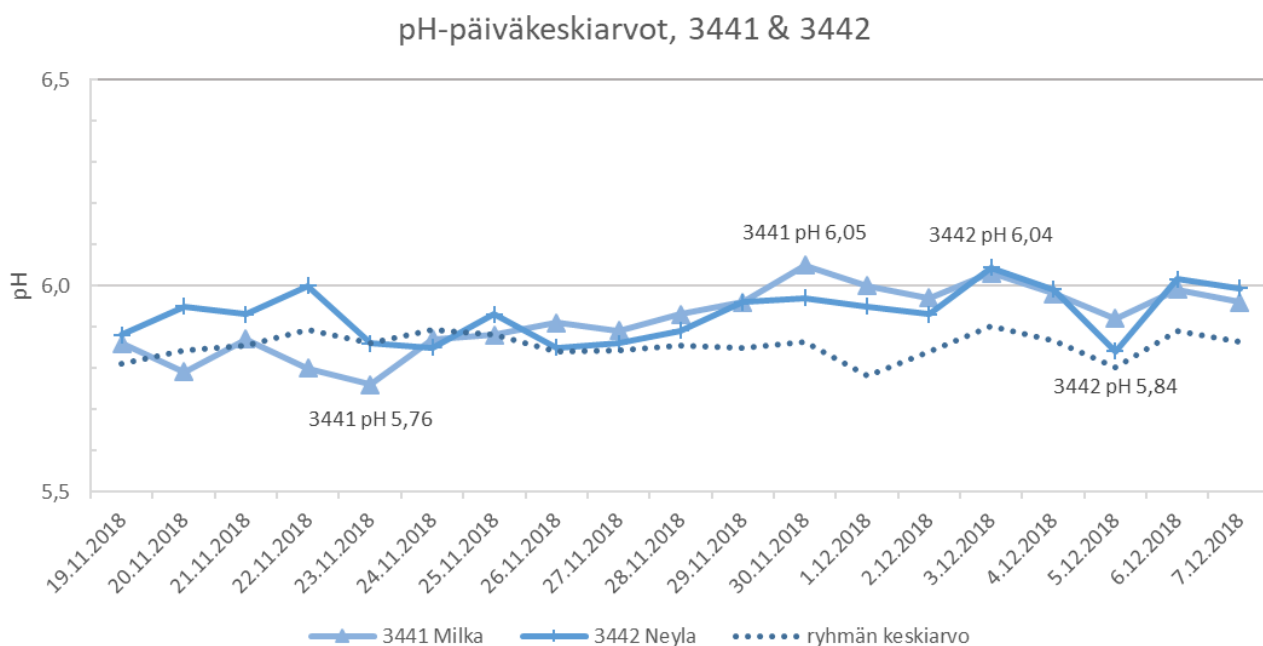
Koko koejakson aikana kävi ilmi, että lehmien välillä pH-tasoissa ja niiden vaihteluissa oli selkeitä eroja silloinkin, kun ne olivat samassa ryhmässä samalla ruokinnalla. Tämä vahvisti käsitystä siitä, kuinka suuri merkitys lehmän omalla syöntikäyttäytymisellä ja keinoilla säädellä pötsin pH-tasoa on. Ruokintaryhmän sisäiset pH-tason erot ovat todenneet myös Ruuska, Kajava, Järvinen & Mononen (2013, s. 33) hankkeessa, jossa testattiin pötsin pH-tasoa ja lämpötilaa mittaavan laitteiston toimintaa. Hissa (2018, s.54) kirjoitti yksilökohtaisen perus-pH-tason, pötsimikrobiston koostumuksen sekä kyvyn sietää ruokinnan muutoksia vaikuttavan lehmän herkkyyteen sairastua hapanpötsiin.

6.1.1 Neljän viikon koerehujakso kaikilla lehmillä

19.11.-7.12.2018 eli viikot 47 - 49 kaikki lehmät olivat takakierrossa koerehulla. Viikon 46 alussa koerehu oli lisätty takakierron apekomponentiksi ja samalla viikolla tapahtui viiden päivän tietokatkos osalla lehmistä sekä ruokinnan muutos (kappale 5.3.). Kahden viimeksi mainitun tapahtuman vuoksi viikko 46 ei ole mukana pH-tasojen vertailussa. 20.11.2018 tapahtui

vielä lyhyt tietokatkos boluksissa väärin asetusten vuoksi. Tietokatkon lyhyen keston (<6 h) ja boluksien muutoin normaalisti esittämän tiedon vuoksi kyseisen viikon 47 pH-mittaukset on otettu huomioon tarkastelussa.

Tarkasteltavana ajanjaksona rehunjako tapahtui keskimäärin 2,4 kertaa päivässä. Ryhmän keskimääräinen pH ajanjaksolla oli $5,85 \pm 0,19$. Suurin mitattu pH-taso oli 6,56 ja pienin 5,08. Ryhmän sisäinen pH-päiväkeskiarvon vaihtelu oli suurta, minkä vuoksi tarkasteltavat pH-käyrät on jaettu kahteen ryhmään sen mukaan, oliko käyrässä havaittavissa pH-tason selkeää nousua vai ei. Kuvassa 11. on esitetty pH-käyrät, joissa voi havaita pH-tason nousun. Ensimmäisten päivien jälkeen 3441:n pH-päiväkeskiarvot lähtevät nousuun pH:sta 5,76. Tässä vaiheessa koerahun syötön aloittamisesta on kulunut noin puolitoista viikkoa. Seuraavan viikon aikana keskiarvo nousee yli pH kuuden ja pysyttelee lähellä sitä loppuajan. 3442:lla pH-keskiarvo ehtii jo ensimmäisinä päivinä pH kuuden pintaan, mutta laskee seuraavina päivinä. Laskun jälkeen on havaittavissa melko tasainen nousu pH 6,04:ään. 5.12. kummassakin pH-käyrässä näkyy notkahdus, jolloin 3442:n pH-keskiarvo on tarkastelujaksolla matalin (pH 5,84). Seuraavana päivänä kummankin keskiarvot nousevat takaisin pH kuuden läheisyyteen. Molemmilla on täten havaittavissa tavoitteen mukainen selkeä pH-päiväkeskiarvojen nousu tarkastelujakson aikana.

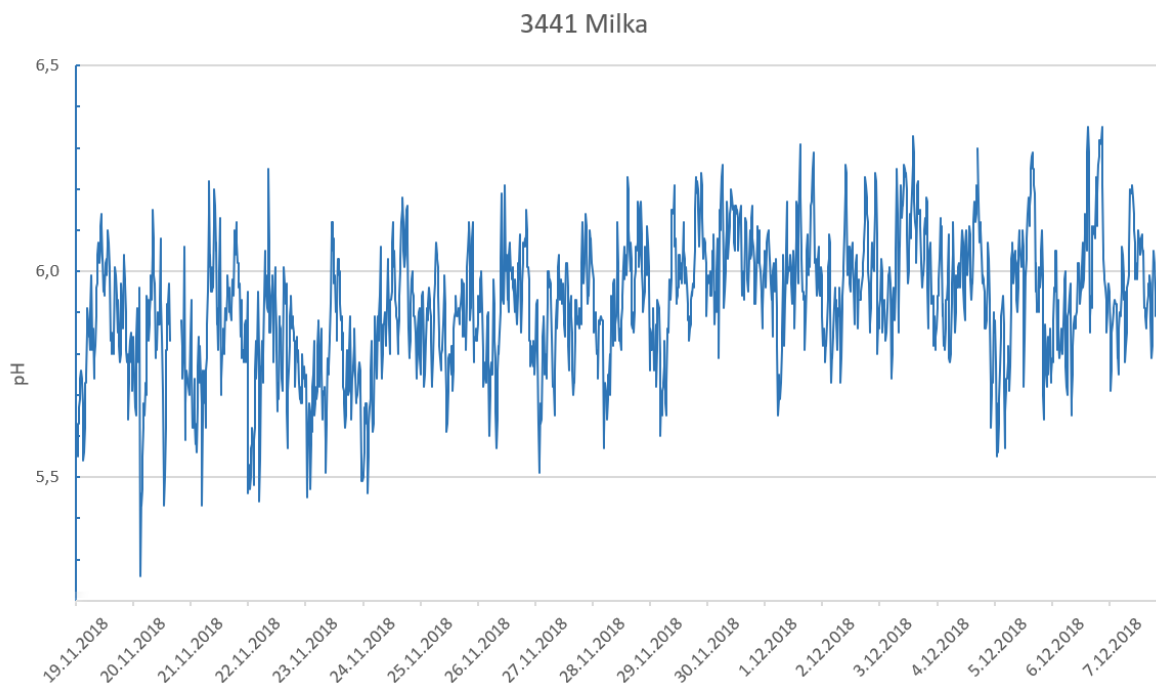


Kuva 11. 3441:n ja 3442:n pH-päiväkeskiarvot sekä koko ryhmän keskiarvo.

Koerehulla toivottiin saavan pH-tasoja korkeammaksi hillitsemällä pH:n laskuja pötsissä. Keskiarvon perusteella ei saa selkeää kuvaa pötsin pH:n todellisesta vaihtelusta, minkä vuoksi on tarpeen tarkastella bolusten mitausten perusteella piirtyvää pH-käyrää aikajanalla.

Boluksen 3441 mittaustuloksista käy ilmi, kuinka keskiarvoina vakaalta näyttänyt pötsin pH vaihtelee huomattavasti tarkastelujakson alussa (kuva 12). Päivän 20.11. aikana pH vaihtelee jopa 0,9 yksikköä, laskien ensin jyrkästi hyvin happamaksi (pH 5,26) ja nousten seuraavan viiden tunnin aikana lukemaan pH 6,15. Vastaavaa vaihtelua tapahtuu myös seuraavina päivinä. Syynä voi olla se, että lehmä käy syömässä harvoin ja paljon, jolloin syömistä seuraa pötsin pH:ta laskeva vilkas mikrobikäyminen sekä tunteja kestävä kylläisyyden tunne. Yhtä lailla taustalla voi olla edellisellä viikolla vaihtunut ruokinta, johon lehmän pötsimikrobit ovat vasta tottumassa.

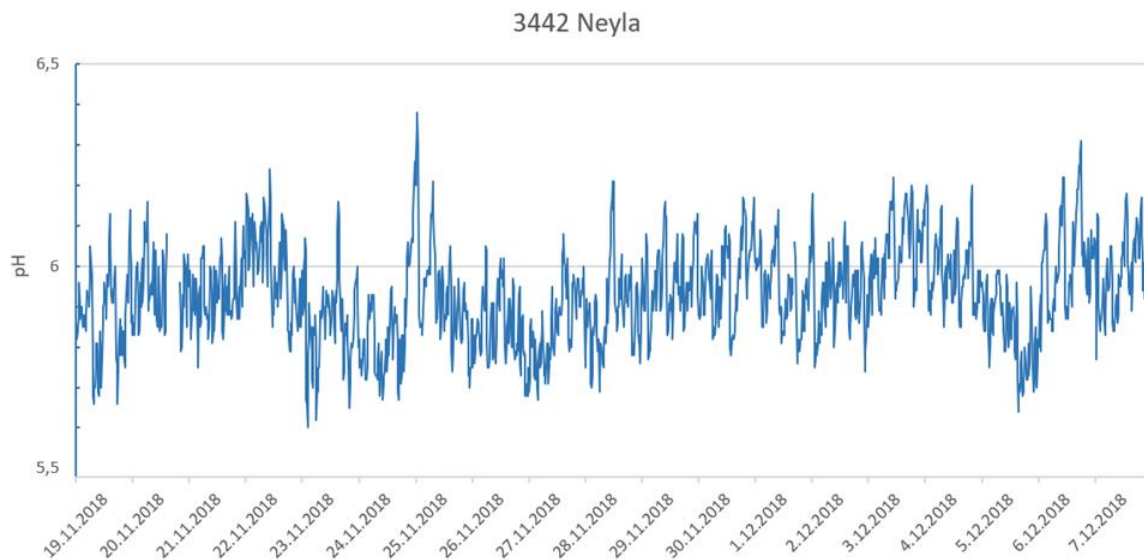
Suuria pH-vaihteluita seuraa jo keskiarvoista nähty tasainen nousu kohti pötsimikrobeille optimaalisempaa pH-tasoa kuusi. Myös vaihtelussa on havaittavissa toivotun mukaista tasaantumista ensimmäisten päivien mittauksiin verrattuna. 4.12.18 eteenpäin pH alkaa taas vaihdella selvemmin, mutta ehtii palata pienemmälle vaihteluvälille tarkastelujakson viimeisenä päivänä.



Kuva 12. 3441:n pH-käyrässä on huomattavia vaihteluita.

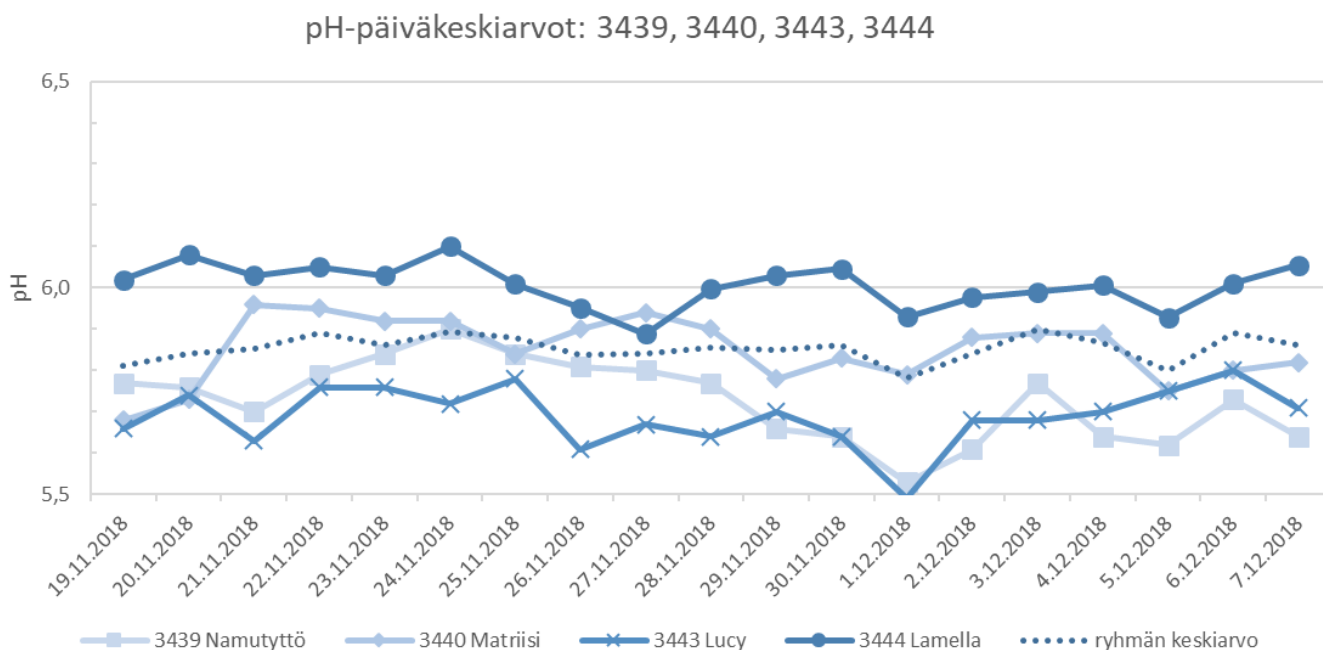
3441:n pH-käyrän vaihteluihin verrattuna 3442:n käyrästä puuttuvat yhtä selkeät ja jyrkät piikit alaspäin (kuva 13). Myös sen pH-vaihtelu on pääsääntöisesti tasaisempaa ja tiheämpää, eikä vaihteluväli korkeimman ja matalimman pH-arvon välillä pääsääntöisesti ole 0,5 pH-yksikköä suurempi. Poikkeuksen muodostavat selkeästi erottuvat, jyrkät nousut pH-tasossa. Osa niistä voi johtua kyseisen lehmän tavasta mennä robotin kokoomatiilaan, jossa se lypsylle menon ja takaisin ruokintapöydän ääreen pääsyn sijaan vietti välillä useita tunteja makuuparressa maaten. Joka tapauksessa pH-käyrä nousee alkupuolen laskun jälkeen takaisin pH kuuden lähelle ja

vaihtelu pysyy pääosin tasaisena 29.11.-4.11.2018. Tätä seuraavana päivänä pH laskee alimmillaan lukemaan 5,64, josta käyrän nousu tapahtuu nykien takaisin lähelle pH kuutta.



Kuva 13. 3442:n pH-käyrä on pääosin tasainen ja hyvällä tasolla.

Loppujen neljän koelehmän pH-päiväkeskiarvot on esitetty kuvassa 14. Bolusten mittaustuloksissa ei ole syötön aloittamista seuranneiden neljän viikon aikana havaittavissa samanlaisia pH-päiväkeskiarvojen nousuja kuin edellä käsitellyillä kahdella lehmällä. Näillä neljällä pH-keskiarvot pysyvät melko tasaisina tai laskevat tarkastelujakson aikana. 3444 on näistä neljästä sekä koko ryhmästä ainoa, jolla pH-päiväkeskiarvo on toistuvasti yli pH kuuden. 3439, 3440 ja 3443 eivät taas kertaakaan ylitä päiväkeskiarvoiltaan pH kuutta. Niiden matalissa pH-keskiarvoissa olisi ollut helppo huomata selkeä nousu, jos sellainen olisi tavoitteiden mukaisesti tapahtunut. Koska pötsin pH-tason nousu on havaittavissa vain kahdella lehmällä kuudesta, joista kaikki ovat kuitenkin oletuksena syöneet koerehua appeen sessa, nousun on voinut aiheuttaa jokin muu kuin koerehu. Ruokinta ja vastaavasti ruokinnan väkirehuprosentti olivat vaihtuneet 16.11.2018, vain muutama päivä ennen nyt tarkastellun jakson alkua. Ruokinnan muutos on saattanut näkyä lehmillä 3441 ja 3442 väliaikaisena pH-tason laskuna, jonka jälkeen pötsin pH on kohonnut ja tasaantunut.



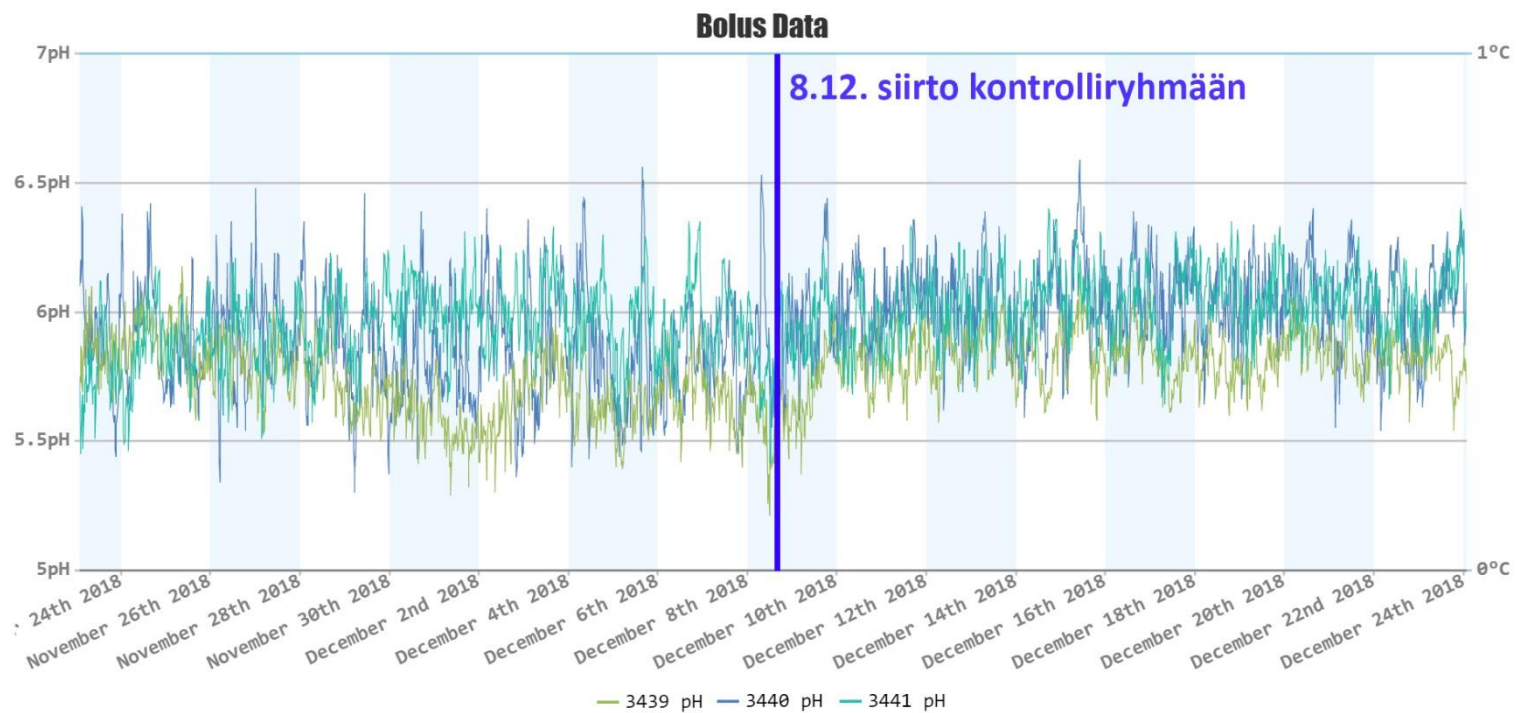
Kuva 14. Bolusten 3439, 3440, 3443 ja 3444 pH-päiväkeskiarvot.

6.1.2 Siirtyminen koerhulta kontrolliryhmään

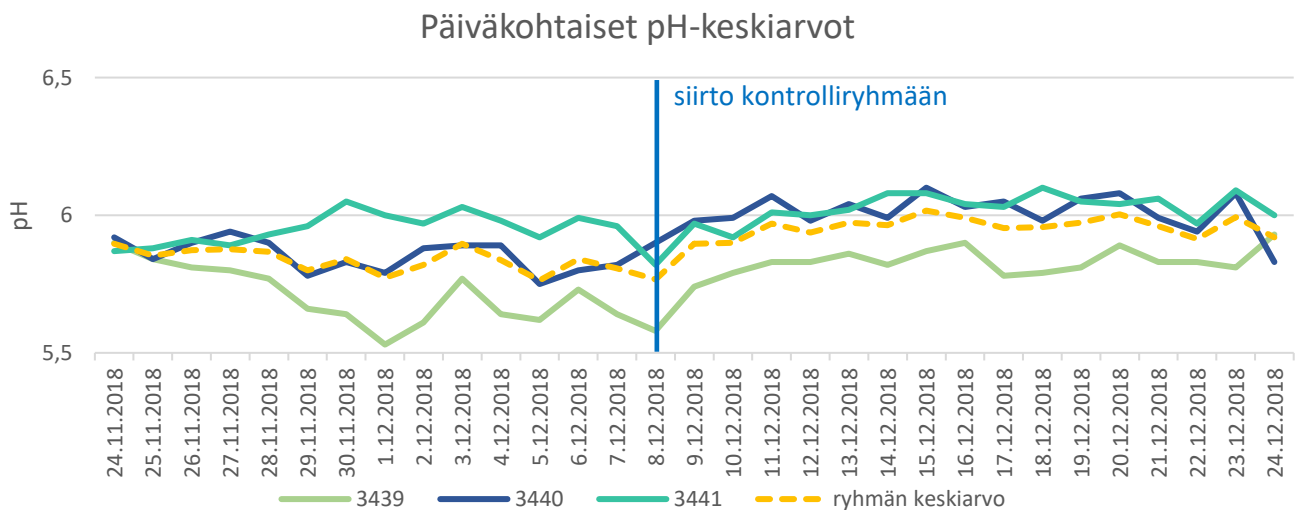
Kolme lehmää siirrettiin viikolla 49 takakierrosta koerhulta isoon lypsävien ryhmään kontrolliryhmäksi. Vertailemalla siirtoa edeltävien ja seuraneiden viikkojen pH-käyriä voidaan tutkia, näkyykö siirto yksilöiden tai ryhmän pH-käyrien muutoksena. Koska koerhun tarkoitus on nostaa pötsin pH-tasoa sekä tasoittaa pH-tason vaihteluita, koerhun pois jääminen ruokinnasta neljän syöntiviikon jälkeen voisi näkyä esimerkiksi pH-tason laskuna ja epätasaisempuna käyränä.

Kuvassa 15. on siirrettyjen lehmien pH-käyrät ajalta 24.11.-24.12., jolloin siirtopäivä 8.12. ajoittuu tarkasteltavalla jaksolla noin puoleen väliin. Kuvasta on havaittavissa, että ennen siirtoa pH-tason erot yksilöiden välillä ovat olleet ryhmän sisällä selkeämpiä kuin siirron jälkeen. Erityisesti 3440:n käyrästä tasoittuvat selkeät piikit korkeimmissa ja matalimmissa pH-tasoissa. Siirron jälkeen sen pH-käyrä ei mene enää ollenkaan alle pH-tason 5,5.

Ryhmän vaihtamisen aikaansaama muutos näkyy myös päivien pH-tasojen keskiarvoissa (kuva 16.) Huomattavin muutos on edelleen 3439:n pH-käyrässä, mutta myös kahden muun boluksen keskiarvot ja vastaavasti ryhmän pH-tasojen keskiarvoa kuvaava käyrä nousevat siirron jälkeen.



Kuva 15. Koerehulta kontrolliryhmään siirrettyjen lehmien pH-käyrät ennen ja jälkeen siirron.

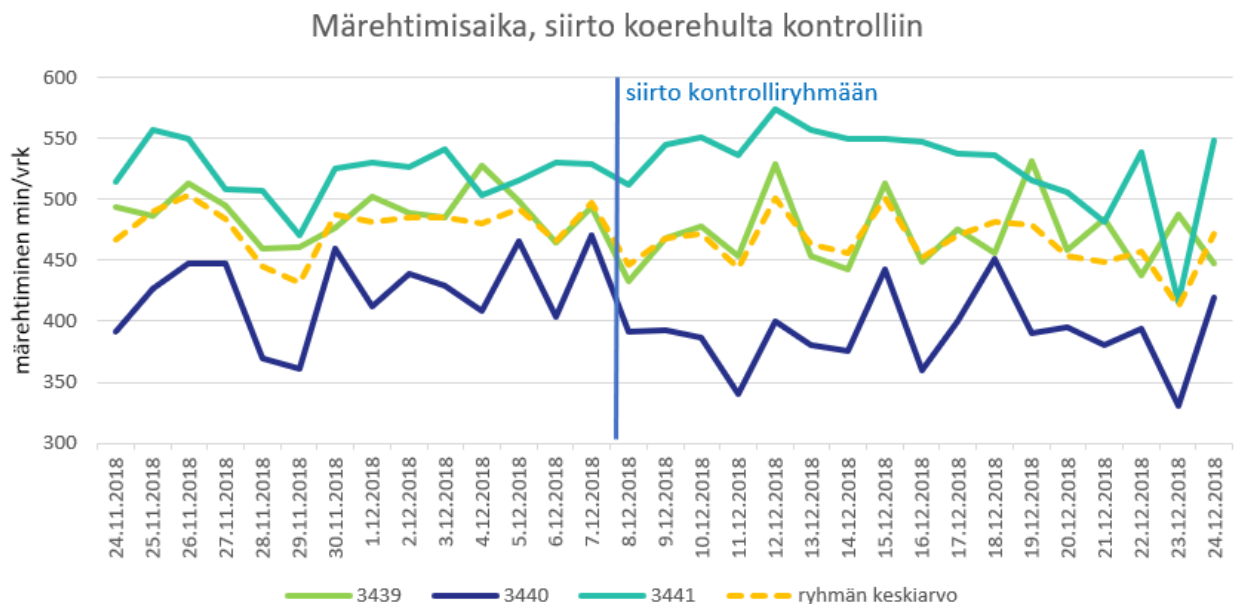


Kuva 16. Koerehulta kontrolliryhmään siirrettyjen lehmien sekä ryhmän pH-tasojen keskiarvot ennen ja jälkeen siirron.

Ryhmän pH-tasojen nousu ja keskinäinen tasoittuminen on todennäköisemmin seurausta ruokintaryhmän vaihdosta kuin koerahun syömisen loppumisesta. Kontrolliryhmä oli navetassa huomattavasti suuremmissa lehmäryhmässä, jossa oli niin ikään pidempi ruokintapöytä sekä vapaa kierto. Rehunjako tapahtui myös useammin, eli 3-5 kertaa päivässä koerehuryhmän 2-3 kertaa päivässä tapahtuneeseen rehunjakoon verrattuna. Tuore

rehuseos houkuttaa lehmiä syömään paremmin kuin pöydällä pidempään ollut. Nämä tekijät ovat voineet kannustaa siirrettyjä lehmiä syömään useammin ja poistaneet eroja lehmien syömisajoissa. Vaikka koerehuryhmässä takakierron puolella ryhmän koko on mitoitettu parsipaikkoihin ja ruokintapöytänsä siten, että kaikki mahtuvat samanaikaisesti makuulle sekä syömään, runsaampi vapaa tila mahdollistaa myös arempien yksilöiden samanaikaisen syömisensä muun lauman kanssa. Pötsin pH-tasojen nousu siirron jälkeen voi johtua myös rehuina käytettyjen karkearehujen koostumuksen ja ravintosisällön muutoksesta. Vaikka koejakson aikana käytetyt korsirehut eivät vaihtuneet, on rehuerän sisällä voinut olla vaihtelua esimerkiksi energiasisällössä, mikä on niin ikään voinut vaikuttaa lehmien pötsien pH-tasoihin.

Koska lehmän sylki neutraloi happamuutta pötsissä (kappale 2.5.2), kohonneiden pH-lukujen taustalla voisi olla myös märehtimiseen käytetyn ajan huomattava kasvaminen. Lehmien vuorokaudessa märehtimiseen käytämä aika tarkasteltavalta ajanjaksolta esitetään kuvassa 17. Toisin kuin pH-tasoissa, märehtimisajan muuttuminen siirron jälkeen on yksilökohtaisempaa. Korkeimman ja matalimman märehtimisaikakäyrän välillä on selkeä ero ja väliin jäävä on lähellä koko ryhmän keskiarvoa kuvaavaa käyrää. Pötsin pH-tason keskiarvojen noususta huolimatta 3440 jatkaa siirron jälkeen muita matalampaa ja epätasaisempaa linjaa. Ryhmän keskiarvon perusteella märehtiminen ei vaikuta juurikaan lisääntyneen tai vähentyneen siirron jälkeen, joten se ei todennäköisesti ole nousseiden pH-tasojen taustalla.

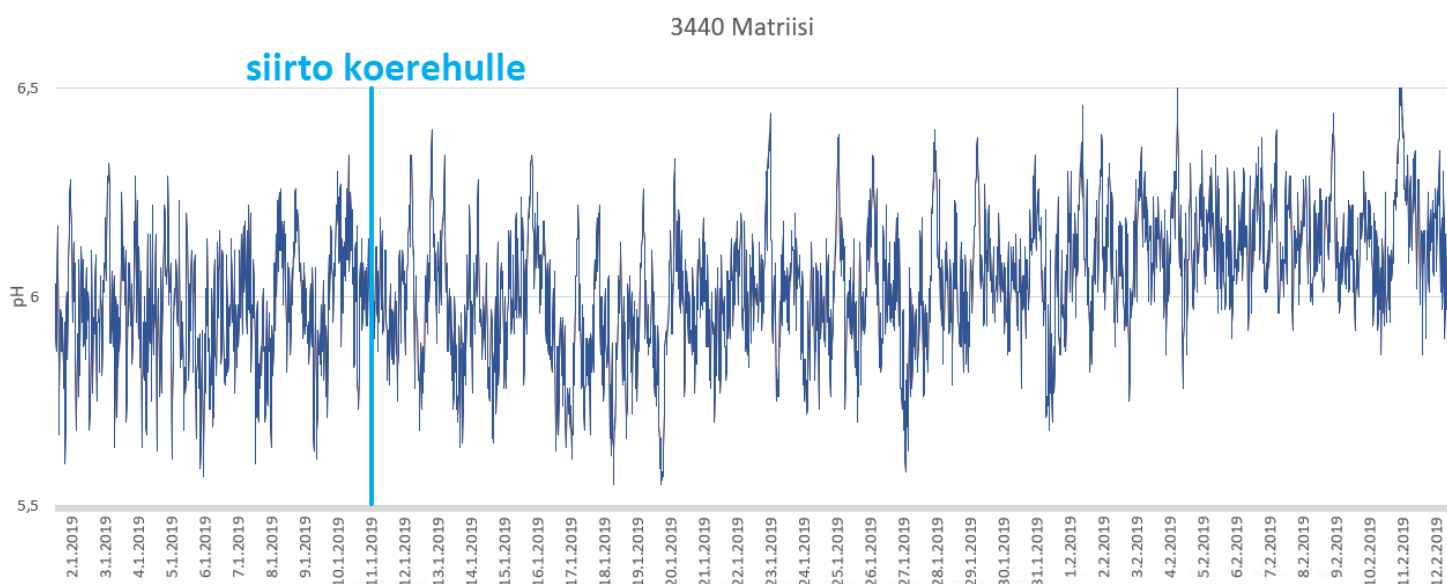


Kuva 17. Koerehulta kontrolliryhmään siirrettyjen lehmien märehtimisajat vuorokaudessa ennen ja jälkeen siirron.

6.1.3 Siirtyminen kontrolliryhmästä koerehulle

Kokeen loppupuolella lehmä 3440 siirrettiin kontrolliryhmästä takakiertoon koerehulle. Siirron tavoitteena oli seurata pääasiassa yksilötasolla, näkykö siirto pH:n nousuna ja pH-vaihteluiden tasoittumisena. Kyseinen lehmä valittiin, koska sen pH-käyrässä näkyi suurin vaihtelu kontrolliryhmän lehmistä, mikä paransi mahdollisuutta nähdä koerehun vaikutus. Lehmän edellisestä kerrasta takakierrossa oli viiden viikon väli. Tämän vuoksi koerehun edellisellä syöttöajanjaksolla ei oletettu olevan vaikutusta.

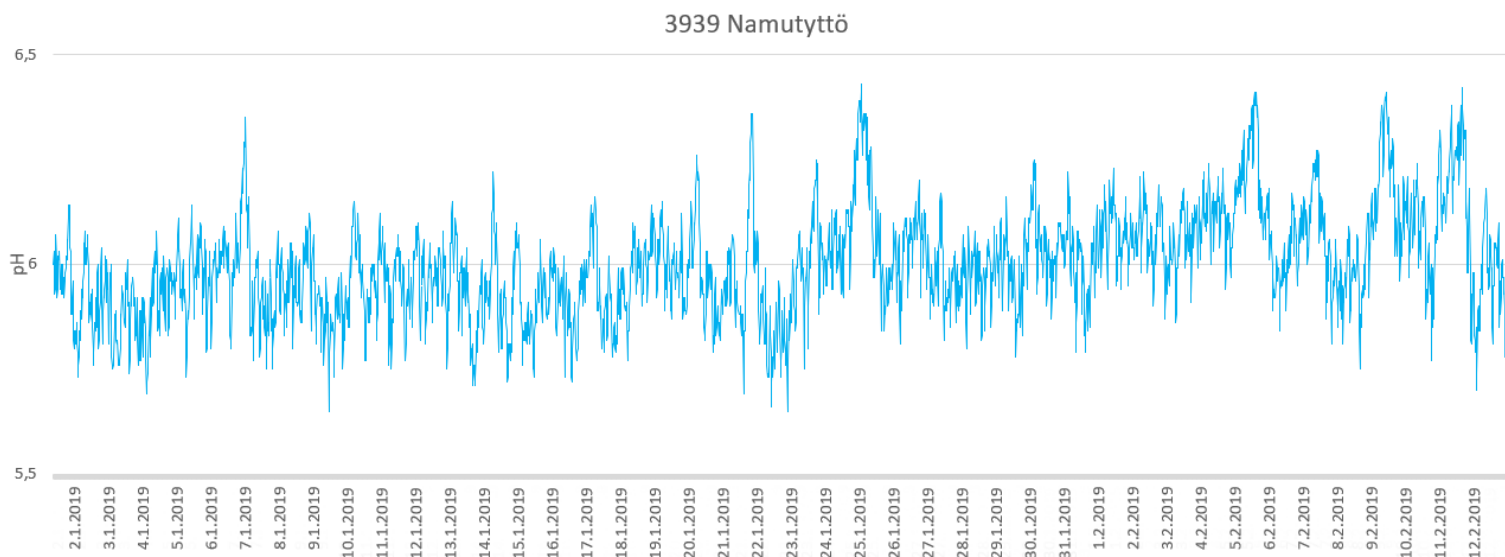
Koska pötsimikrobit vaativat aikaa sopeutuakseen ruokinnan muutokseen, koerehun vaikutusta ei oletettu havaittavan ensimmäisten viikkojen aikana siirrosta. Oletuksen mukaisesti lehmän pH-käyrässä ei näy selkeää muutosta siirtoa seuranneen viikon aikana (kuva 18). 28.2.2019 alkaen pH-käyrä alkaa selkeästi nousta, jonka seurauksena pötsin pH nousee suurimmaksi osaksi pH kuuden yläpuolelle ja pysyy siellä. 5.-10.2.2019 on nähtävissä tavoitteiden mukainen, selkeä pH-vaihteluiden tasoittuminen.



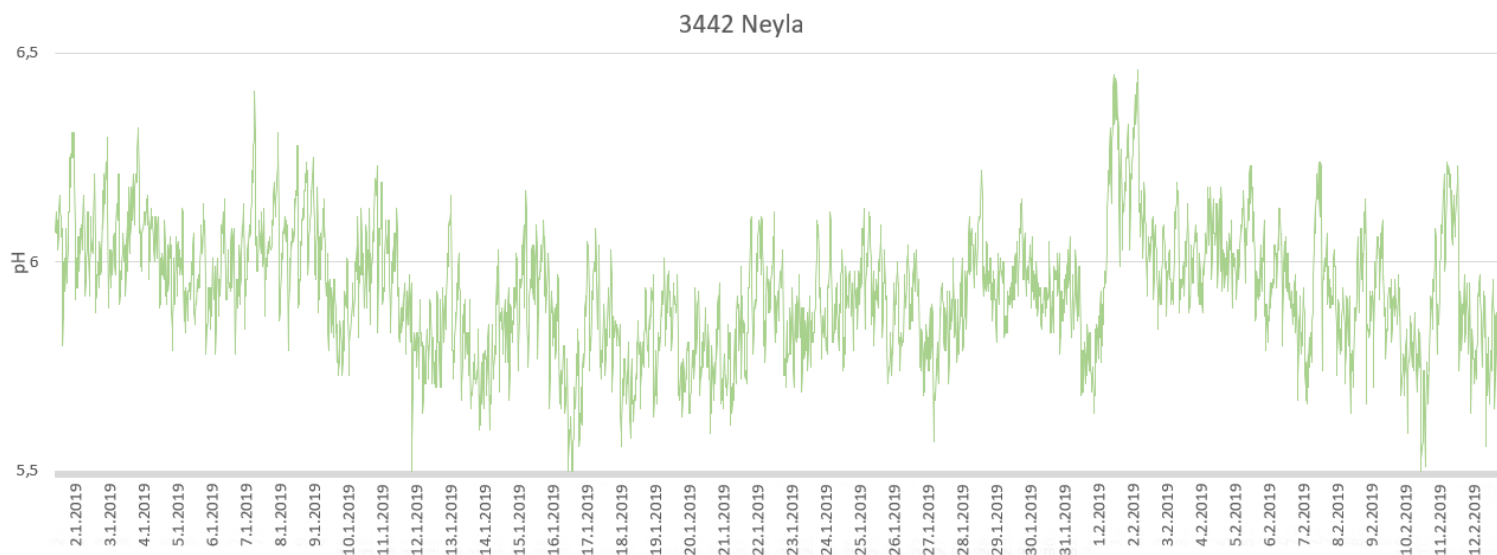
Kuva 18. Koerehulle siirretyn lehmän pH-käyrä.

Pötsin pH-tason nousun taustalla tai siihen vaikuttamassa voi olla myös tammikuun lopussa tapahtunut apereseptin sisällön muutos karkearehujen osalta. Kolmannen sadon säilörehua sisältäneet paalit loppuivat viikonlopun 28. – 30.2.2019 aikana ja niiden osuus ruokinnassa korvattiin laaka-siilon rehulla apereseptiä muulla tapaa muuttamatta, sillä uusi ruokintasuunnitelma oli tulossa käyttöön pidennetyn pH-seurannan loputtua. Muista lehmistä, joilla bolus vielä toimi, myös kontrolliryhmän lehmällä 3439 näkyy tammikuun lopulla alkanut pH-tason nousu (kuva 19). Lehmä 3442 siirtyi 1.2.2019 kontrolliryhmän puolelle, jonka jälkeen sillä näkyy lyhyempi pH-nousu helmikuun ensimmäisinä päivinä (kuva 20). Kummalla-

kin on kuitenkin havaittavissa selkeä pH-tason vaihtelun epäsäännöllistyminen 5.2.2019 eteenpäin, toisin kuin korehulle siirretyllä lehmällä 3440. Jos kahden muun lehmän huomattava pH-vaihtelu tarkastelujakson loppussa on johtunut ruokinnasta, korehun vaikutus on voinut näkyä lehmällä 3440 pH-tason pysymisenä vakaampana.



Kuva 19. 3439:n pH-käyrä 2.1.-12.2.2019.

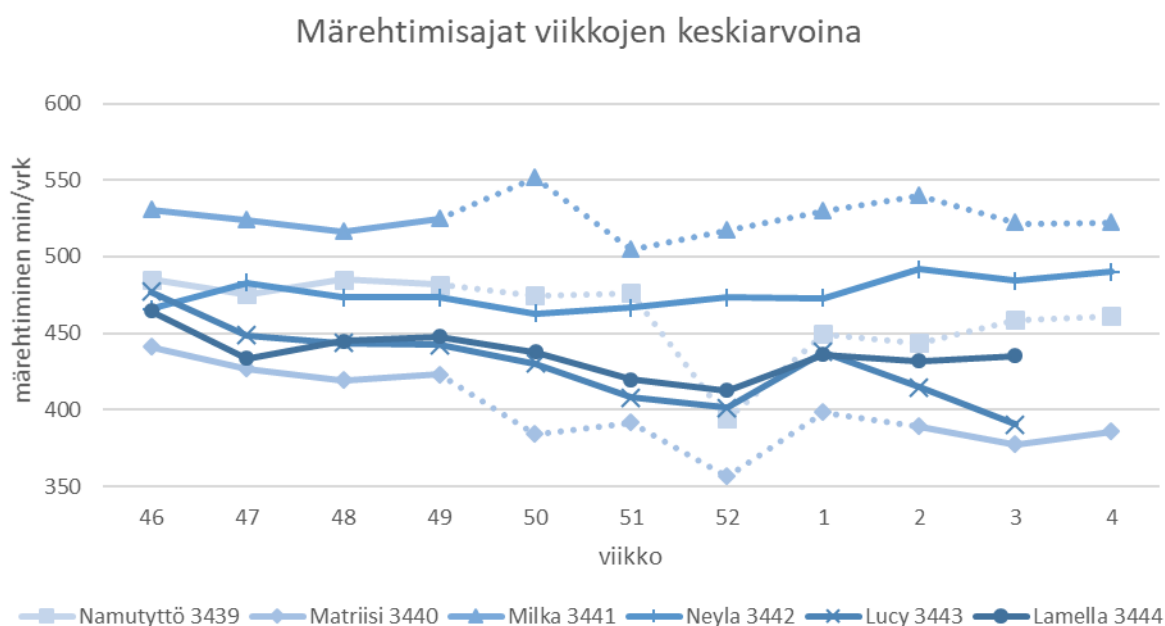


Kuva 20. 3442:n pH-käyrä 2.1.-12.2.2019.

6.2 Märehtimisen seurannan tulokset

Kokeeseen osallistuneiden lehmien märehtimisajat viikoilta 46 – 47 esitellään kuvassa 21 viikkojen keskiarvoina. Tarkastelujakso on rajattu aikavälille, jolloin ei tapahtunut ruokinnan muutoksia. Kuvassa tasainen viiva tarkoittaa lehmän olleen takakierrossa koerehulla ja pisteiviiva kontrolliryhmässä. Tätä erottelua käytetään myös myöhemmissä kappaleissa.

Alussa näkyy neljän viikon jakso, jolloin kaikki lehmät olivat testiryhmässä koerehulla viikkoina 46 – 49. Tällä aikavälillä keskiarvot kasvoivat vain edellisen viikon keskiarvoon verrattuna, suurimmaksi osaksi oli havaittavissa lievää laskua. Viikon 49 lopulla kolme lehmää siirtyi kontrolliryhmäksi ja kuten kappaleessa 6.1.2 käsiteltiin, siirron jälkeen erot niiden märehtimisajoissa kasvoivat. Ainoan koko kokeen ajan koerehulla olleen lehmän 3442 märehtimisajassa näkyy alun loivan laskun jälkeen tasainen nousu viikosta 50 viikkoon 2, jolloin märehtimisaika on kasvanut viidellätoista minuutilla. Yksittäisenä havaintona sen perusteella ei voida todeta koerehun lisäneen märehtimistä.



Kuva 21. Lehmien märehtimiseen käyttämä aika viikkojen keskiarvoina viikoilla 46 – 4.

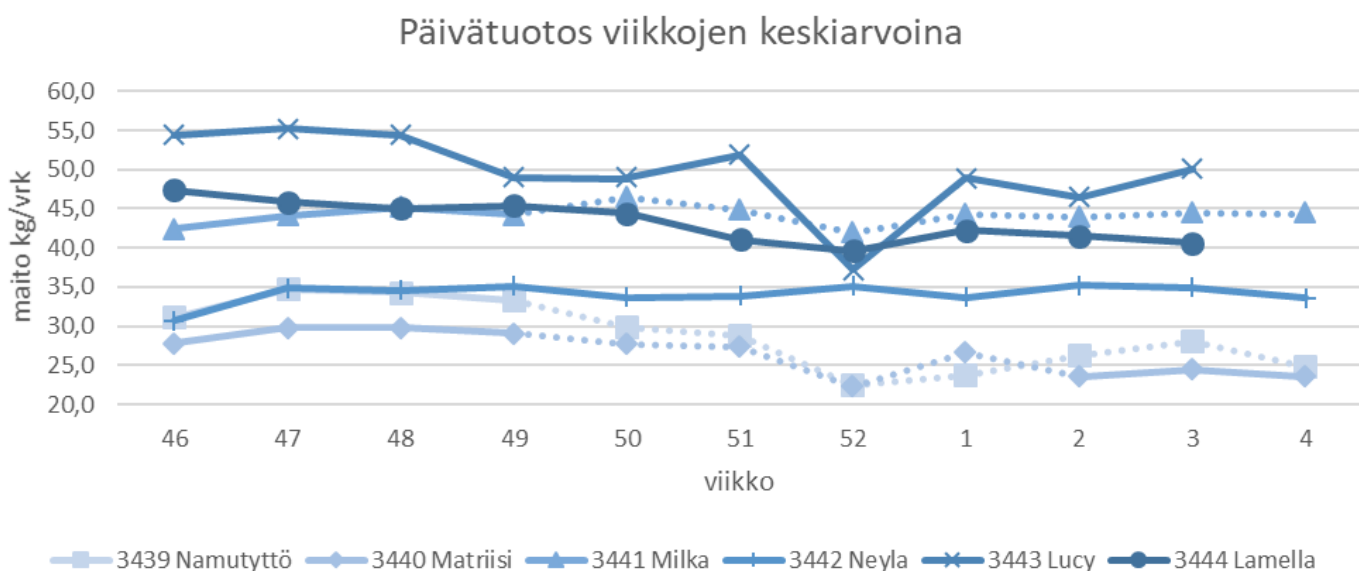
Kuvasta on huomattavissa, kuinka viikkojen 47 – 49 aikana korkeimman pH-keskiarvon (6,01) saaneen lehmän 3444 märehtimisaika on keskimäärin hyvin samankaltainen lehmän 3443 kanssa, jolla vuorostaan oli yksi matalimpia pH-keskiarvoja (5,68) samalla ajanjaksolla. Nämä kaksi lehmää olivat myös korkeatuottoisimmat kokeeseen osallistuneista. Pitääkseen yllä korkeaa maidontuotantoa lehmien on ollut välttämätöntä myös syödä run-

saasti, minkä vuoksi märehitimiselle on voinut jäädä vähemmän aikaa vuorokaudessa. Hulsenin ja Aerdenin (2014, s.12) mukaan pureskeluaika lehmän syömää kuiva-ainekiloa kohti vähenee, kun kuiva-aineen syönti päivässä kasvaa. Tämän vuoksi runsastuottoinen lehmä voi pureskella suhteellisen vähän.

6.3 Päivätuotoksen ja maidon pitoisuuksien seurannan tulokset

6.3.1 Päivätuotos

Lehmien viikkokeskiarvojen pohjalta tehdyt tuotoskäyrät ovat kokeen aikana pääsääntöisesti joko suhteellisen tasaisia (minimin ja maksimin erotus < 4,5kg/vrk), kuten lehmillä 3441 ja 3442 tai hiljalleen laskevia, kuten lehmillä 3439, 3440 ja 3444 (kuva 22.) Lehmällä 3443 näkyy huomattavin tilapäinen muutos maitomäärissä sen päivätuotoksen keskiarvon pudotessa lähes 15 kg alemmas viikolla 52 edelliseen viikkoon verrattuna. Myös lehmien 3439 ja 3440 tuotoskäyrissä näkyy selkeä notkahdus saman viikon kohdalla. Syynä on kyseisellä viikolla navetalla osaa lehmistä kurittanut, virusripuliksi epäilty tauti, jonka oireita olivat nimenomaan pudonnut päivätuotos, erittäin löysä sonta ja väkirehun maistumattomuus. Taudista toivuttuaan 3443:n tuotos palasi lähes sairastumista edeltäneelle tasolle jo seuraavalla viikolla. Samoin 3440:n tuotos, joka kuitenkin laski ja jäi matalammaksi seuraavina viikkoina. 3441:lla maitomäärän keskiarvon paluu lähes edeltävälle tasolle kesti sen sijaan kolme viikkoa. Joka tapauksessa tauti vaikutti mainittujen lehmien maitomääriin huomattavasti ja hankaloitti tuotoskäyrien tulkintaa.

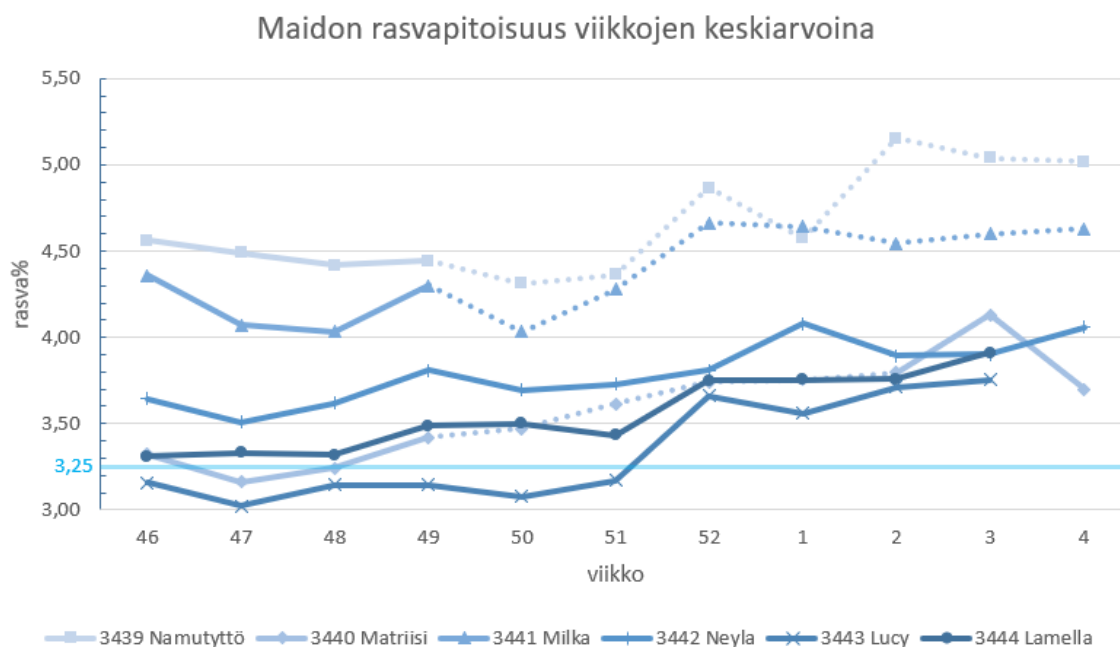


Kuva 22. Lehmien päivätuotos viikkojen keskiarvoina kokeen aikana.

6.3.2 Rasva- ja valkuaispitoisuus

Kokeen aikana lehmien maidon pitoisuuksia seurattiin lypsyrobotin päivittäin tekemien maitoanalyysien ja viikoittain otettujen maitonäytteiden avulla. Maitonäytteen tuloksissa ja lypsyrobotin mittaamissa pitoisuuksissa samalta päivältä (liite 1) havaittiin selkeitä eroja erityisesti rasvapitoisuuden osalta. Rasvapitoisuuksissa ero oli keskimäärin $0,67 \pm 0,83$ prosenttiyksikköä, enimmillään 1,87 prosenttiyksikköä. Valkuaispitoisuuksissa erot olivat pienempiä: keskimäärin $0,13 \pm 0,08$ prosenttiyksikköä. Pitoisuuksien kehitykset olivat kuitenkin suurimmaksi osaksi saman suuntaisia, joten molempia pidettiin luotettavina tuloksina.

Kuvassa 23 on esitelty lypsyrobotin keräämän tiedon pohjalta tehdyt lehmien maidon rasvapitoisuuden viikkokeskiarvojen kehittymiskäyrät. Kuvaan on merkitty maidon matalan rasvapitoisuuden hälytysraja 3,25 %, mikä kertoo mahdollisesta liian suuresta väkirehujen määrästä ruokinnassa (Nousiainen, Vanhatalo & Nokka, 2010, s. 120). Tarkastelujakson alussa suurimman ja pienimmän viikkokeskiarvon ero on lähes puolitoista prosenttiyksikköä (1,4 %) suurimman keskiarvon ollessa 4,56 % ja pienimmän 3,16 %. Lehmälle 3443 kuuluva pienin arvo alittaa rasvapitoisuuden hälytysrajan ja rasvapitoisuuden keskiarvot jatkavat hälytysrajan alapuolella seuraavat viisi viikkoa. Kyseisellä lehmällä myös pH oli kokeen aikana hyvin matala, mikä on voinut heikentää kuidun sulatusta ja alentaa sen kautta maitorasvaa.

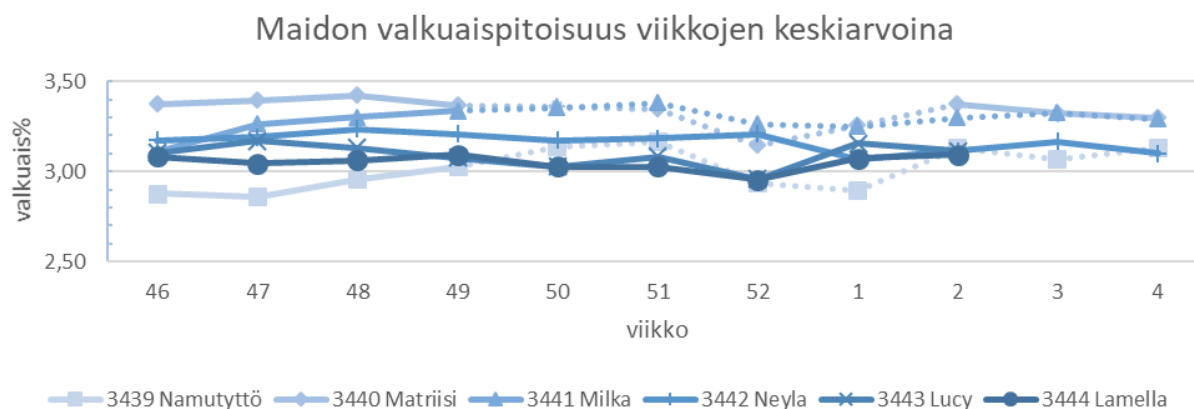


Kuva 23. Maidon rasvapitoisuuksien kehitykset rehukokeen aikana lypsyrobotin keräämien maidon pitoisuustietojen pohjalta.

Käyrien kehittymisessä on havaittavissa selvä yhdensuuntaisuus; viikon keskimääräinen rasvaprosentti nousee kaikilla lemillä kokeen aikana.

Nousua tapahtuu jo viikosta 47 lähtien neljällä lehmällä, mutta selkein samanaikainen muutos näkyy viikon 51 ja 52 välillä. Viikon rasvapitoisuuden keskiarvo nousee tällöin koko ryhmällä keskimäärin 0,31, enimmillään 0,50 ja pienimmillään 0,08 prosenttiyksikköä. Muutos nostaa lehmien rasvapitoisuudet tasolle, josta ne eivät enää huomattavasti alene loppuajana. Koska muutos ja rasvapitoisuuden keskiarvon nousu tarkastelujaksolla yleisesti on havaittavissa pelkästään koeryhmän lehmien sijaan kaikilla lehmillä, koerehujen sijaan muutos on aiheutunut todennäköisesti ruokinasta. Karkearehujen kuitupitoisuuden nousu on voinut saada rasvapitoisuuden nousemaan, sillä maitorasvan esiasteena toimivan ja pääosin kuidun sulatuksesta syntyvän etikkahapon muodostus nostaa maidon rasvapitoisuutta.

Maidon valkuaispitoisuuksissa vaihtelu sekä yksilöiden välillä että kokeen aikana on selkeästi pienempää (kuva 24). Kokeen alussa ero suurimman ja pienimmän keskiarvon välillä on 0,5 prosenttiyksikköä, noin kolmasosa vastaavaan rasvapitoisuuden keskiarvojen eroon verrattuna. Rasvaan verrattuna valkuaispitoisuuksien keskiarvoissa ei tapahdu selkeää nousua, vaan kehitys pysyy pääosin tasaisena.



Kuva 24. Maidon valkuaispitoisuuksien kehitykset rehukokeen aikana lypsyrobotin keräämien maidon pitoisuustietojen pohjalta.

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Koska viljaväkirehuilla on pötsiä happamoittava vaikutus, niiden suuri osuus ruokinnassa vaatii pötsin hyvinvoinnin ylläpitämiseksi ruokinnan toimimisen kokonaisuutena. Lehmän tulisi syödä karkea- ja väkirehuja oikeassa suhteessa tasaisesti, tiheästi ja pienissä erissä päivän aikana, jotta se välttyisi suurilta laskuilta pötsin pH-tasossa. Jotta tämä onnistuu, tarjolla olevan rehun tulisi olla mahdollisimman tasalaatuista ja maittavaa vuorokauden ympäri. Pötsipuskureiden käytöstä voi olla hyötyä ruokinnan korkean väkirehuprosentin muodostaessa riskin pötsien happamoitumisesta.

Rehukokeen aikana ruokinnan väkirehupitoisuus oli suunnitelman mukaan noin puolet kuiva-aineesta (51 %). Koska väkirehuprosentti oli korkea ja lehmät tuotoskauden alkuvaiheessa, jossa niillä on suurempi riski kärsiä hapantötsistä, tuloksissa odotettiin näkyvän matalia pH-käyriä ($ka < pH 6$). Matalissa pH-tasoissa koerehun mahdollinen vaikutus oletettiin näkyvän selkeämmin kuin valmiiksi hyvällä tasolla olevissa pH-tasoissa ($ka \geq pH 6$).

Koelehmien pH-tasot olivat odotusten mukaisesti osalla matalat jo rehukokeen alussa, mikä tarjosi hyvän lähtötilanteen koerehun puskuroivan vaikutuksen havaitsemiselle. Tietokatkoksien ja toimimasta lakanneiden boluksien vuoksi mahdollisten koerehun vaikutusten havaitseminen jäi kuitenkin ryhmävertailun sijaan pH-mittaustuloksista tehtyjen, pääasiassa yksittäisten poimintojen varaan. Rehukokeen ensimmäisellä koejaksolla koerehun vaikutustavoitteen mukaisia muutoksia eli pH-tason nousua havaittiin kahdella lehmällä kuudesta. Koska on epätodennäköistä, että vain kyseiset kaksi lehmää ovat syöneet koerehua sen ollessa sekoitettuna ryhmän appeeseen, koerehun osuus pH-tasojen nousussa on epävarma.

Toisella koejaksolla koerehulta kontrolliryhmään siirretyillä lehmillä olisi pitänyt näkyä pH-tason lasku ja/tai vaihtelun lisääntyminen olettaen, että koerehu olisi toiminut niillä tavoitteen mukaisesti. Yhdellä kolmesta siirretystä lehmästä oli todettu pH-tason nousu edellisessä jaksossa. Kontrolliryhmään siirto näkyi odotusten vastaisesti välittömästi kaikkien kolmen lehmän pH-tason nousuna sekä vaihtelun tasaantumisenä. Taustalla oli todennäköisemmin kontrolliryhmän useammin päivässä tapahtuneen rehunjaon vaikutukset, kuin koerehun vaikutuksen loppuminen.

Toisella koejaksolla oli myös tarkoitus verrata lehmien pH-käyriä koe- ja kontrolliryhmän välillä. Kun kahden boluksen toimimattomuus ja tästä johtuva tietojen menetys sekä ryhmien epätasaisuus kyseisellä koejaksolla selvisi kokeen loppupuolella, yksi kontrolliryhmän lehmistä siirrettiin takaisin koeryhmään. Siirrettävä lehmä valittiin sen matalan ja vaihtelultaan suuren pötsin pH-tason vuoksi. Lehmän pH-käyrän kehittymistä seurattiin neljä viikkoa, jonka aikana varsinainen rehukoe loppui eikä maitonäytteitä enää lähetetty analysoitavaksi. Noin kaksi viikkoa siirron jälkeen lehmän pH-käyrässä näkyi nousu. Nousu näkyi myös toisen lehmän pH-käyrässä ja

ajoittui samalle aikavälille ruokinnassa tapahtuneen karkearehmuutoksen kanssa. Kolmannella lehmällä näkyi lyhytaikaisempi pH-käyrän nousu. Viimeisellä tarkasteluviikolla koerhulla olleen lehmän pH-käyrä tasoittui ja pysyi tasaisena samalla, kun kahdella muulla lehmällä näkyi selkeää pH-tason vaihtelun kasvu. Koerehun vaikutus saattoi näkyä pH-käyrän pysymisenä tasaisena.

Vaihtelevien tulosten ja kokeen aikana supistuneen otannan vuoksi alkuperäiseen tutkimuskysymykseen ei saatu kokeen aikana luotettavaa vastausta. Pötsin pH-seurannan mittaustulokset vahvistivat aikaisempien tutkimusten huomioita siitä, että lehmien välillä voi olla selkeitä eroja pH-tasossa, vaikka niiden ruokinta ja olosuhteet eivät eroaisi. Kun kuuden lehmän otannassa näkyy niin huomattavia vaihteluita, voi vain pohtia, kuinka monella lehmällä koko karjassa saattaa olla happaman pötsin aiheuttamia oireita.

Märehtimis- ja tuotosseurannan tietojen vertailussa aineistossa ei ollut puutteita, minkä puolesta niissä oli parempi mahdollisuus nähdä muutoksia. Märehtimisajan suuruudella ei havaittu kokeen aikana olevan selkeää yhteyttä pötsin pH-tasoon, toisin kuin seurannan alkaessa odotettiin. Koerhulla ei voitu todeta olleen märehtimisaikaa kasvattavaa vaikutusta, minkä lisäksi päivätuoksissa ja maidon valkuaispitoisuuksissa ei yleisesti havaittu nousua rehukokeen aikana. Maidon rasvapitoisuudet kasvoivat koko ryhmällä, minkä lisäksi maidon rasvapitoisuuksien viikkokeskiarvoissa näkyi koko ryhmällä samanaikainen, keskimäärin kolmannesprosenttiyksikön suuruinen nousu kokeen puolivälin jälkeen.

Jos tutkimus uusittaisiin samoilla tavoitteilla, ulkoisten muuttujien vaikutukset tulisi ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa ja minimoida paremmin. Samanaikaisesti vertailtavien koe- ja kontrolliryhmien olosuhteiden ei tulisi poiketa toisistaan, jotta kerätty tieto säilyy vertailukelpoisena eläinryhmien tai yksittäisten eläinten siirtojenkin yhteydessä. Muun muassa ryhmäkoko ja rehunjakokerrat tulisi pitää muuttumattomina kokeen aikana, koska niiden vaihtuminen voi vaikuttaa lehmien syömiskäyttäytymisen kautta pötsin pH-tasoihin.

LÄHTEET

Back, A. (2010) Pötsin toimintaa tasapainottavat vapaankaupan valmistteet; sisällön ja tehokkuuden arviointia pötsihäiriöiden hoidossa ja ennaltaehkäisyssä. Eläinlääketieteen lisensiaatin tutkielma. Helsingin yliopisto. Haettu 7.6.2019 osoitteesta <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/17286>

Blowey, R. (1999) *A Veterinary Book for Dairy Farmers*. Hong Kong: World Print Ltd.

Cruywagen, C.W., Taylor, S., Beya, M.M. & Calitz, T. (2015) The effect of buffering dairy cow diets with limestone, calcareous marine algae, or sodium bicarbonate on ruminal pH profiles, production responses, and rumen fermentation. *Journal of Dairy Science* 98, 5560 – 5514. Haettu 10.5.2019 osoitteesta [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(15\)00356-2/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(15)00356-2/pdf)

eCow Ltd. (n.d.) The eBolus. Haettu 21.10.2019 osoitteesta <https://ecow.co.uk/the-ebolus-for-researchers/>

Hissa, P. (2018) Torju piilevä hapanpötsi. *Nauta* 04/18, 52 – 54.

Hulsen, J. & Aerden, D. (2014) *Ruokintahavaintoja*. Vaasa: Oy Fram Ab.

Hutjens, M. (2003) *Feeding guide*. W.D. Hoard & Sons Company: Fort Atkinson.

Ikävalko, H. (2016) Suunnittele oikein seosruokinta. *Nauta* 2/16, 43 – 45.

Jaakkola, S. (2010a) Karkearehut. Teoksessa J. Kyntäjä, S. Nokka & T. Harmoinen (toim.) *Lypsylehmän ruokinta*. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy, 60 – 68.

Jaakkola, S. (2010b) Väkiarehut ja lisäaineet. Teoksessa J. Kyntäjä, S. Nokka & T. Harmoinen (toim.) *Lypsylehmän ruokinta*. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy, 69 – 81.

Jaakkola, S., Rinne, M. & Nousiainen, J. (2010) Lehmän tärkeimmät ravintoaineet. Teoksessa J. Kyntäjä, S. Nokka & T. Harmoinen (toim.) *Lypsylehmän ruokinta*. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy, 11 – 18.

Kajava, S., Palmio, A. & Sairanen, A. (2014) Pötsin pH asettaa rajat ruokinnalle. *Nauta* 05/14, 40 – 41.

Karlström, T. (2016) Ruokinta on onnistumisen optimointia. *Nauta* 05/16, 28 – 29.

Kyntäjä, J., Karlström, T., Rinne, M., Nousiainen, J., Palva, R. & Nokka, S. (2010) Ruokintamenetelmän valinta. Teoksessa J. Kyntäjä, S. Nokka & T. Harmoinen (toim.) *Lypsylehmän ruokinta*. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy, 46 – 51.

Liespuu, S. (2018) Valkuainen on umpiruokinnassa kriittinen asia. *Maatilan Pellervo: Eläin* 2/18, 30 – 32.

Marden, J.P., Julien, C., Monteils, V., Auclair, E., Moncoulon, R. & Bayourthe, C. (2008) How Does Live Yeast Differ from Sodium Bicarbonate to Stabilize Ruminant pH in High-Yielding Dairy Cows? *Journal of Dairy Science* 91, 3528 – 3535. Haettu 8.5.2019 osoitteesta [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(08\)71067-1/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(08)71067-1/pdf)

Nousiainen, J., Vanhatalo, A. & Nokka, S. (2010) Ruokinnan onnistumisen seuranta. Teoksessa J. Kyntäjä, S. Nokka & T. Harmoinen (toim.) *Lypsylehmän ruokinta*. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy, 117 – 131.

Pyörälä, S. & Tiihonen, T. (2005) Ruuansulatuskanavan sairaudet. *Nautojen sairaudet 2005*. Helsingin yliopisto: Eläinlääketieteellinen tiedekunta. Haettu 3.9.2019 osoitteesta https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/1975/544/12_ruuansulatuskanavan_sairaudet.pdf?sequence=8&isAllowed=y

Rautala, H. (1996) *Tavoitteena terve karja*. Vantaa: Suomen Kotieläinjalostusosuuskunta.

Rinne, M. & Nousiainen, J. (2010) Rehuarvot ja rehujen sulavuus. Teoksessa J. Kyntäjä, S. Nokka & T. Harmoinen (toim.) *Lypsylehmän ruokinta*. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy, 75 – 81.

Rinne, M. & Sairanen, A. (2010) Hyvän nurmirehun ominaisuudet. Teoksessa S. Peltonen, T. Puurunen & T. Harmoinen (toim.) *Nurmirehujen tuotanto ja käyttö*. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy, 16 – 20.

Ruuska, S., Kajava, S., Järvinen, M. & Mononen, J. (2013) Pötsin salat selville – apua terveyden seurantaan? *Nauta* 05/13, 32 – 33.

SeiLab (n.d.) Rehuanalyysin tulkintaohjeistus: märehitijät. Haettu 25.9.2019 osoitteesta <http://www.seilab.fi/tutkimukset/rehututkimukset.html/47916.pdf>

Sjaastad, Ø., Sand & O. & Hove, K. (2010) *Physiology of Domestic Animals*. 2. painos. Oslo: Scandinavian Veterinary Press.

- Thomas, H. (2009) *The Cattle Health Handbook*. USA: Versa Press.
- Vanhatalo, A. (2010a) Ruoansulatus. Teoksessa J. Kyntäjä, S. Nokka & T. Harmoinen (toim.) *Lypsylehmän ruokinta*. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy, 19 – 26.
- Vanhatalo, A. (2010b) Ravintoaineiden sulatus ja käyttö. Teoksessa J. Kyntäjä, S. Nokka & T. Harmoinen (toim.) *Lypsylehmän ruokinta*. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy, 27 – 38.
- Vartia, K. (2018) Kuinka välttää ruokinnan karikot? *Nauta* 04/18, 55 – 57.
- Webster, J. (1993) *Understanding the dairy cow*. Toinen painos. MPG Books Ltd: Bodmin.

Maitonäytteiden analyysitulokset ja vastaavat lypsyrobotin pitoisuusmittaukset

Viikottaiset maitonäytteet

näytteenotto- pvm.	3439 Namutyttö		3440 Matriisi		3441 Milka		3442 Neyla		3443 Lucy		3444 Lamella	
	r-%	v-%	r-%	v-%	r-%	v-%	r-%	v-%	r-%	v-%	r-%	v-%
9.11.2018	4,64	2,98	3,63	3,18	3,87	3,04	4,81	2,90	2,81	2,88	3,72	3,25
16.11.2018	3,50	2,98	3,67	3,29	3,93	3,15	3,15	2,90	3,19	3,00	3,13	3,18
23.11.2018	3,84	2,98	4,62	3,21	3,54	3,24	3,81	2,99	3,24	3,08	3,49	3,10
30.11.2018	3,62	3,05	4,05	3,35	3,69	3,26	3,46	3,02	4,31	2,93	3,84	3,24
7.12.2018	3,36	3,18	2,71	3,37	3,94	3,42	3,80	3,11	3,48	3,12	4,38	3,41
14.12.2018	3,52	3,27	2,74	3,28	3,71	3,26	4,58	2,92	9,42	3,14	4,30	3,26
21.12.2018	3,89	3,26	3,04	3,29	3,79	3,36	3,09	2,91	4,40	3,14	3,66	3,21
4.1.2019	3,70	3,29	3,28	3,38	4,49	3,27	4,40	2,98	4,22	3,17	4,40	3,27
13.1.2019	3,24	3,35	3,97	3,32	3,83	3,26	3,48	2,91				
18.1.2019	3,64	3,47	3,98	3,35	3,66	3,27	3,61	3,15				

Lypsyrobotin pitoisuusmittaukset

näytteenotto- pvm.	3439 Namutyttö		3440 Matriisi		3441 Milka		3442 Neyla		3443 Lucy		3444 Lamella	
	r-%	v-%	r-%	v-%	r-%	v-%	r-%	v-%	r-%	v-%	r-%	v-%
9.11.2018	3,17	2,92	4,14	3,39	4,03	3,26	4,03	3,16	3,10	3,08	3,28	3,10
16.11.2018	4,51	2,89	3,53	3,39	4,53	3,14	3,07	3,17	3,18	3,11	3,43	3,08
23.11.2018	4,62	2,86	2,76	3,42	4,12	3,28	3,66	3,21	3,25	3,25	3,47	3,02
30.11.2018	4,42	2,93	3,53	3,41	4,04	3,36	3,79	3,28	3,27	3,12	3,36	3,07
7.12.2018	4,44	3,06	3,72	3,35	4,27	3,40	3,88	3,26	3,17	3,03	3,55	3,14
14.12.2018	4,33	3,19	3,45	3,36	4,03	3,39	3,70	3,20	3,56	3,18	3,48	3,09
21.12.2018	4,27	3,15	3,10	3,35	4,26	3,37	3,64	3,19	3,29	3,08	3,40	3,05
4.1.2019	4,82	2,94	3,69	3,34	4,62	3,26	4,19	3,08	3,34	3,24	3,76	3,12
13.1.2019	5,11	3,09	3,82	3,34	4,58	3,24	3,95	3,10				
18.1.2019	4,81	3,10	3,90	3,33	4,68	3,35	3,87	3,18				