

Våm-pH hos mjölkkor: Jämförelse av mättekniker och pH-förändring i samband med foderintag

Veronica Furenbäck



Examensarbete • 30 hp

Uppsala 2019

Våm-pH hos mjölkkor: Jämförelse av mättekniker och pH-förändring i samband med foderintag

Veronica Furenbäck

Handledare: Mikaela Lindberg, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för husdjurens utfodring och vård
Bitr. handledare: Cecilia Kronqvist, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för husdjurens utfodring och vård
Examinator: Torsten Eriksson, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E
Kurstitel: Självständigt arbete i husdjursvetenskap
Kursansvarig inst.: Institutionen för husdjurens utfodring och vård
Kurskod: EX0872

Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2019
Omslagsbild: Veronica Furenbäck
Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: nätmagens pH, våmacidos, SARA, LRCpH, eBolus, buffring, salivflödes hastighet, tuggaktivitet, idissling, peNDF, iNDF, pdNDF, partikellängd, sortering

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap
Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Sammanfattning

Våmmens pH hos mjölkkor varierar under dygnet och mikroberna i våmmen behöver ett pH mellan 6-6,5 för att fungera optimalt. Normalt hålls våm-pH stabilt genom att kon absorberar flyktiga fettsyror (VFA) till blodet och den viktigaste mekanismen är saliven vilket har en buffringsförmåga då den innehåller bikarbonat och vätefosfatjoner. Salivflödes hastigheten påverkas av tuggaktivitet och idissling. Partikellängd och andel grovfoder i förhållande till kraftfoder påverkar våmmiljön och våm-pH.Utfodringsstrategier och rutiner samt antal gånger en ko äter per dygn påverkar våm-pH. Vid en plötslig foderstatförändring eller ett ökat intag av icke strukturella kolhydrater eller sänkt konsumtion av fiber kan mjölkkon utveckla våmacidos. Våm-pH under 5,5 anses vara onormalt och kan indikera våmacidos/ subakut våmacidos. Genom att mäta pH i våmvätska kan det gå att få en indikation på våmacidos.

Syftet med den här masteruppsatsen var att undersöka normala variationer i våm-pH hos mjölkkor och försöket utfördes vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) forskningscentrum Lövsta i Uppsala. Det ingick två lakterande kor och två sinkor av rasen svensk röd och vit boskap med permanent våmfistel. Försöket var uppdelat i tre mätperioder, där en mätperiod varade i fyra dygn. Mätmetoderna som användes var: Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) som används i forskning och eCow FarmBolus (eBolus) som är en kommersiell produkt och kan användas på kor utan våmfistel. Metoderna användes för att kontinuerligt registrera pH i ventrala våmsäcken och efter två dygn flyttades eBolus till nätmagen för att registrera pH. Manuella provtagningar och mätningar av våm-pH utfördes också med regelbundna intervaller över dygnet.

Resultatet visade att de lakterande korna hade lägre våm-pH än sinkorna ($p < 0,0001$). Nätmagens pH skiljde sig inte mellan de lakterande korna och sinkorna ($p > 0,05$). Nätmagen hade ett högre pH än våmmen ($p < 0,0001$). Det fanns ett starkt samband mellan teknikerna LRCpH och manuell provtagning ($r = 0,71$; $p < 0,0001$), eBolus-våmmen och manuell provtagning ($r = 0,70$; $p < 0,0001$) samt LRCpH och eBolus-våmmen ($r = 0,66$; $p < 0,0001$). Tiden och antal gånger våm-pH var under 5,8 visade ingen signifikant skillnad mellan de lakterande korna och sinkorna ($p > 0,05$). Våm-pH var inte konstant under dygnet och efter kraftfoder- och ensilageintag sjönk våm-pH.

Nyckelord: nätmagens pH, våmacidos, SARA, LRCpH, eBolus, buffring, salivflödes hastighet, tuggaktivitet, idissling, peNDF, iNDF, pdNDF, partikellängd, sortering

Abstract

Ruminal pH in dairy cows has a diurnal variation and the microbes in the rumen require pH 6-6,5 to function. Several mechanisms neutralize ruminal pH, absorption of volatile fatty acids (VFA) to the blood occurs in the rumen and the most important mechanism is the saliva that contains bicarbonate and hydrogen phosphate ions, which has a buffering ability. Saliva flow rate is dependent on chewing activity and rumination. Increased particle length and increased forage to concentrate ratio affects rumen environment and ruminal pH. Feeding strategies, feeding routines and how often the cow eats are factors that can influence rumen pH.

An abrupt change in feed intake, with an increased intake of non-structural carbohydrates and a decreased intake of effective fibre can lead to development of rumen acidosis in dairy cows. Ruminal pH below 5.5 is considered abnormal and can be ruminal acidosis or sub acute ruminal acidosis. To measure pH from rumen liquid may help in diagnosing ruminal acidosis.

The aim of this master thesis was to study the normal variation in ruminal pH in dairy cows and the experiment was conducted at the Swedish University of Agriculture Sciences (SLU) research center Lövsta in Uppsala. Two lactating dairy cows and two dry cows of the breed Swedish red with permanent rumen fistula were included in the study. During three measuring periods with a length of four days each, ruminal pH was continuously measured in the ventral ruminal sac with: Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) that is used in research and eCow FarmBolus (eBolus) that is a commercial product that can be used in cows without a rumen fistula. Reticulum pH was measured with eBolus and manual collection of rumen liquid for measuring of pH was also performed. The result showed that lactating cows had lower ruminal pH than the dry cows ($p < 0.0001$). The pH in the reticulum did not differ between lactating cows and dry cows ($p > 0,05$). The reticulum had a higher pH than in the rumen ($p < 0.0001$). It was a strong relationship between measuring techniques LRCpH and manual sampling ($r = 0.71$; $p < 0.0001$), eBolus-rumen and manual sampling ($r = 0.70$; $p < 0.0001$) and LRCpH and eBolus-rumen ($r = 0.66$; $p < 0.0001$). The duration of time and the frequency the ruminal pH was below 5.8 were no significant different between lactating cows and dry cows ($p > 0.05$). The results confirmed other studies showing that ruminal pH is not constant during the day and after concentrate intake the ruminal pH decreased. Intake of roughage did also decrease ruminal pH.

Keywords: ruminal pH, reticulum pH, rumen acidosis, SARA, LRCpH, eBolus, buffering, saliva flow rate, chewing activity, rumination, peNDF, iNDF, pdNDF, particle length, sorting

Populärvetenskaplig sammanfattning

Normalt har kon mekanismer som gör att pH i våmmen hålls stabilt. En mekanism utgörs av upptaget av flyktiga fettsyror (VFA) från våmmen till blodet. Den viktigaste mekanismen är saliven hos mjölkkon som innehåller bikarbonat och vätefosfatjoner som verkar buffrande. Salivflödes hastigheten beror på tuggaktivitet och idissling. I våmmen ligger fodret i olika skikt och det är foderpartiklarnas densitet som påverkar skiktningen av våminnehållet och foderpartiklarnas storlek påverkar hur länge fodret behålls i våmmen. Tiden foderpartiklar befinner sig i våmmen avgör effekten av fiber nedbrytningen i våmmen. Partikellängd och andel grovfoder i förhållande till kraftfoder påverkar våmmiljö och våm-pH.

När en ko går igenom en plötslig förändring i foderintag med en ökad kraftfoderandel eller sänkt konsumtion av fiber kan våmacidos utvecklas. Våmacidos kan även kallas för kraftfoderföretning och sänker pH i våmmen vilket gör att mikroberna som bryter ned grovfoder inte fungerar optimalt. Mikroberna i våmmen kräver ett pH mellan 6-6,5 för att fungera. Ett pH under 5,5 anses vara onormalt och kan tyda på våmacidos eller subakut våmacidos. Våmacidos påverkar foderintag, mjölkproduktion, mikrofloran i våmmen, våmmens förmåga att spjälka foder och skadar slemhinnor i våmmen hos en mjölkko. Våmacidos kan också orsaka diarré, fång och bölder i levern. En mjölkko kan få våmacidos vid övergången från sinko till lakterande och även i mitten av laktationen. Att mäta pH i våmvätska kan ge en indikation på våmacidos.

I detta experiment ingick två lakterande kor och två sinkor av rasen svensk röd och vit boskap (SRB) med permanent våmfistel. En permanent våmfistel måste opereras in i vänstra sidan av buken på kon. Det är ett öppet hål in till våmmen och i det hålet placeras en silikonformad ring med ett lock som gör att det går att ta ut våminnehåll eller våmvätska för olika typer av försök. En liknelse av våmfistel är stomipåse som vissa människor med tarmsjukdom bär. Försöket utfördes på SLUs forskningscentrum Lövsta i Uppsala.

Det finns olika tekniker som mäter pH kontinuerligt och i experimentet användes teknikerna: Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) som används i forskning och eCow FarmBolus (eBolus) som är en kommersiell produkt och kan användas på kor utan våmfistel. Dessa två mätinstrument sattes in i våmmen genom våmfisteln och mätte våm-pH kontinuerligt. eBolus flyttades efter två dygn till nätmagen för att registrera pH. Manuella provtagningar utfördes och våmvätska togs med ett plaströr med avtagbart lock via våmfistel och med hjälp av en portabel pH mätare avlästes pH. Datainsamling utfördes under tre olika mätperioder och varje mätperiod varade i fyra dygn.

Resultatet visade att de lakterande korna hade lägre våm-pH än sinkorna. De lakterande korna och sinkorna hade lika högt pH i nätmagen. Nätmagens pH var högre än pH i våmmen. Mätteknikerna LRCpH och manuell provtagning, eBolus-våmmen och manuell provtagning samt LRCpH och eBolus-våmmen hade ett starkt samband. Tiden och antalgångar våm-pH var under 5,8 visade ingen signifikant skillnad mellan de lakterande korna och sinkorna. Våm-pH var inte konstant under dygnet och efter kraftfoder- och ensilageintag sjönk våm-pH vilket andra studier även visat.

Innehållsförteckning

Lista över tabeller	9
Lista över figurer	10
Förkortningar	14
1 INTRODUCTION	15
2 LITTERATURGENOMGÅNG	17
2.1 Våmmen	17
2.1.1 Mikroorganismer i våmmen	17
2.1.2 Våmmens anatomi	18
2.2 VFA-upptag och buffring i våmmen	20
2.2.1 Salivens buffertkapacitet	20
2.2.2 VFA-upptag i våmmen	21
2.2.3 Ammoniumjonproduktion	21
2.2.4 Metanproduktion	22
2.3 Olika foderkomponenters påverkan på våm-pH	22
2.3.1 Kolhydrater	22
2.3.2 Icke strukturella kolhydrater	23
2.3.3 Strukturella kolhydrater	23
2.4 Utfodringsstrategier	25
2.4.1 Fullfoders påverkan på våm-pH	25
2.4.2 Antal utfodringar av kraftfoder per dygn	25
2.5 Foderbeteende	26
2.5.1 Påverkan på våm-pH vid sortering av foder	26
2.6 Våmacidos	27
2.6.1 Ätbeteende vid risk för våmacidos	28
2.7 pH-sensortekniker för att mäta våm-pH	28
2.7.1 eCow FarmBolus (eBolus)	28
2.7.2 Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH)	29
3 MATERIAL OCH METODER	31
3.1 Djur och foder	31
3.2 Material och utförande	33
3.2.1 Manuell mätning av våm-pH	33
3.2.2 LRCpH	33
3.2.3 eBolus	33
3.3 Statistisk analys	35
4 RESULTAT	37
4.1 Foderanalys	37
4.2 Foderintaget	38
4.3 Våm-pH	39
4.3.1 De lakterande korna	39

4.3.2	Sinkorna	40
4.4	Dygnsmedelvärde för våm-pH och utfodring	42
4.4.1	De lakterande korna	42
4.4.2	Sinkorna	45
4.4.3	Nätmagens pH för de lakterande korna och sinkorna	47
4.5	Jämförelse av medel-pH	47
4.6	Korrelation mellan mätmetoder	48
5	DISKUSSION	52
5.1	Våmmiljön och våminnehållets påverkan på dataresultat	52
5.2	Våm-pH och nätmagens pH	53
5.2.1	Antal ättilfällen	53
5.3	Dygnsmedelvärde för våm-pH och utfodring	53
5.4	Korrelationer och jämförelse av mättekniker	54
5.5	Våmacidos	54
5.6	Framtida forskning	55
6	SLUTSATS	56
	Referenslista	57

Lista över tabeller

Tabell 1: Näringsvärden på ensilaget och de två olika kraftfodren till de två lakterande korna.	37
Tabell 2: Näringsvärden på ensilaget för de två sinkorna.	37
Tabell 3: Intag av ensilage och kraftfoder, kg ts per ättillfälle och dygn per ko, för de två lakterande korna, medeltal per period.	38
Tabell 4: Uppskattat medelintag per dygn och ko, för de två sinkorna.	38
Tabell 5: Minsta kvadratmedelvärde för våm-pH och nätmagens pH för de lakterande korna under de olika perioderna och totalt för alla perioder med de olika mätteknikerna. SEM: Standard error of the mean.	47
Tabell 6: Minsta kvadratmedelvärde för våm-pH och nätmagens pH för de två sinkorna under de tre olika perioderna och totalt för alla perioder med de olika mätteknikerna. SEM: Standard error of the mean.	48
Tabell 7: Korrelationskoefficient (r) mellan olika metoder för pH-mätning och p-värde för korrelationen. eBolus V= Våmmen, eBolus N= Nätmagen	48

Lista över figurer

- Figur 1:* Illustration av våmmens olika säckar, a) Dorsal säck (mot ryggsidan), b) Ventral säck (mot buksidan), c) Nätmagen, d) Matstrupe, e) Diafragma, f) Matstrupens skåra g) Nätmagen- bladmagens öppning, h) Löpmagen, i) Cranial veck (mot huvudet), j) Kaudal veck (mot svansen), k) Längsgående veck l) Dorsal veck (från ryggsidan), m) Ventral veck (från buksidan), n) Dorso-kaudal blindsäck (mot rygg-svanssidan), o) Ventrokaudal blindsäck (mot buksidan), p) Cranial säck (mot huvudet), q) Kaudal tvärgående skåra (från svanssidan) (Sjaastad et al., 2016) Tillstånd av Scandinavian Veterinary Press. 18
- Figur 2:* Illustration av våmmens olika foderskikt (Sjaastad et al., 2016). Tillstånd av Scandinavian Veterinary Press. 19
- Figur 3:* Illustration av VFA-upptag från våmmen till blodet. HAc: odissocierade VFA, Ac⁻: VFA anjon, HCO₃⁻: bikarbonat, CO₂: koldioxid, H₂O: vatten, H₂CO₃: kolsyra, H⁺: väte (Sjaastad et al., 2016). Tillstånd av Scandinavian Veterinary Press. 21
- Figur 4:* eCow FarmBolus (*eBolus and Handset Research User Manual*, 2018). Tillstånd av eCow FarmBolus. 29
- Figur 5:* LRCpH med två 900 grams vikter (Foto: Veronica Furenbäck). 30
- Figur 6:* Sinko med våmfistel (Foto: Veronica Furenbäck, 2018). 32
- Figur 7:* Våmfistel på en sinko. Den ljusa silikonlisten är våmfistelinsatsen och det svarta i mitten som har en krok är locket på fisteln som också är gjord av silikon. (Foto: Veronica Furenbäck, 2018). 32
- Figur 8:* Portabel pH-mätare från METTLER TOLEDO modell SevenGo SG2 (Foto: Veronica Furenbäck, 2018). 33
- Figur 9:* Motorolamobilen och eCow avläsaren som användes vid avläsning av eBolus (Foto: Veronica Furenbäck, 2018). 34
- Figur 10:* pH i våmmen hos de två lakterande korna under alla tre mätperioder om fyra dygn vardera. Korna utfodrades *ad libitum* ensilage med 1 % inblandning av halm samt totalt 14-15 kg kraftfoder per dygn. Totalt 4536 registreringar mätt med Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) i ventrala våmsäcken. 39

- Figur 11: pH i nätmagen hos de två lakterande korna under alla mätperioder om fyra dygn vardera. Korna utfodrades *ad libitum* ensilage med 1 % inblandning av halm samt totalt 14-15 kg kraftfoder per dygn. Totalt 1952 registreringar mätt med eCow FarmBolus (eBolus) i nätmagen. 40
- Figur 12: pH i våmmen hos sinkorna under alla mätperioder om fyra dygn vardera. Korna utfodrades *ad libitum* i period 1 med 25 % halm och 75 % ensilage och mineraler på ts-basis och i period 2-3 *ad libitum* 80 % helsädesensilage av korn, 20 % ensilage och mineraler på ts-basis. Totalt 4536 registreringar mätt med Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) i ventrala våmsäcken. 40
- Figur 13: pH i nätmagen hos sinkorna under alla mätperioder om fyra dygn vardera. Korna utfodrades *ad libitum* i period 1 med 25 % halm och 75 % ensilage och mineraler på ts-basis och i period 2-3 *ad libitum* 80 % helsädesensilage av korn, 20 % ensilage och mineraler på ts-basis. Totalt 1952 registreringar mätt med eCow FarmBolus (eBolus) i nätmagen. 41
- Figur 14: Ensilageintag (grå kvadrat) och kraftfoderintag (gul cirkel) och den heldragna linjen visar medelvärde varje timme för pH i våmmen. Tid för vattenintag för 437 kl: 1,2, 4, 6,10,11, 15, 16 och 21. Kon utfodrades *ad libitum* ensilage med 1 % inblandning av halm samt totalt 14-15 kg kraftfoder per dygn. Mätning av våm-pH gjordes kontinuerligt med Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH). 42
- Figur 15: Ensilageintag (orange kvadrat) och kraftfoderintag (grå cirkel) och den heldragna linjen visar medelvärde varje timme för pH i våmmen. Tid för vattenintag för 451 kl: 1,2, 4, 9, 10,17,18,22 och 24. Kon utfodrades *ad libitum* ensilage med 1 % inblandning av halm samt totalt 14-15 kg kraftfoder per dygn. Mätning av våm-pH gjordes kontinuerligt med Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH). 43
- Figur 16: Medelvärde för våmmens pH varje timme under tre dygn för de lakterande korna 437 och 451. Mätning av våm-pH i ventrala våmsäcken gjordes kontinuerligt med Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH). De lakterande korna utfodrades *ad libitum* ensilage med 1 % inblandning av halm samt totalt 14-15 kg kraftfoder per dygn. De två streckade linjerna är de individuella medelvärdena för våmmens pH och den heldragna linjen är totala medelvärdet för våm-pH för de båda lakterande korna. 44
- Figur 17: Medelvärde för våmmens pH varje timme under ett dygn för sinkorna 456 och 1382. Mätning av våm-pH i ventrala våmsäcken gjordes kontinuerligt med Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH). Sinkorna utfodrades *ad libitum* 80 % helsädesensilage av korn, 20 % ensilage och mineraler på ts-basis och utfodrades kl 17 och 23 markerat med pilar i diagrammet. De två streckade linjerna är de individuella medelvärdena för våmmens pH och den heldragna linjen är det totala medelvärdet för båda sinkornas våm-pH. 45
- Figur 18: Medelvärde för våmmens pH varje timme under tre dygn för sinkorna 456 och 1382. Mätning av våm-pH i ventrala våmsäcken gjordes kontinuerligt med Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH).

Sinkorna utfodrades *ad libitum* 80 % helsädesensilage av korn, 20 % ensilage och mineraler på ts-basis. De två streckade linjerna är de individuella medelvärdena för våmmens pH och den heldragna linjen är det totala medelvärdet för båda sinkornas våm-pH. 46

Figur 19: Medelvärde var 15:e minut för pH i nätmagen för de lakterande korna och sinkorna mätt med ett permanent kvarliggande pH mätningssystem eCow FarmBolus (eBolus). De lakterande korna utfodrades *ad libitum* ensilage med 1 % inblandning av halm samt totalt 14-15 kg kraftfoder per dygn. Sinkorna utfodrades *ad libitum* 80 % helsädesensilage av korn, 20 % ensilage och mineraler på ts-basis. Den streckade linjen är det totala medelvärdet för våm-pH för de två sinkorna. Den heldragna linjen är totala medelvärdet för våm-pH för de två lakterande korna. 47

Figur 20: Sambandet mellan mätteknik Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) som mätte pH kontinuerligt varje minut i ventrala våmsäcken och ett permanent kvarliggande pH mätningssystem eCow FarmBolus (eBolus) som mätte pH i ventrala våmsäcken varje minut men utdata visades som ett medelvärde var 15:e minut. Data från LRCpH gjordes om till medelvärde var 15:e minut för att kunna vara jämförbart med eBolus. Det var totalt tre mätperioder och en mätperiod varade i fyra dygn. Den diagonala linjen visar $y = x$. 49

Figur 21: Sambandet mellan mätteknik Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) som mätte pH kontinuerligt varje minut i ventrala våmsäcken och manuell provtagning av våmvätska som togs via våmfisteln i den ventrala våmsäcken varannan timme mellan 06:00 och 22:00 fördelat under två dygn. Det var totalt tre mätperioder och en mätperiod varade under fyra dygn. Data omvandlades till medelvärde var 15:e minut för att kunna vara jämförbart. Den diagonala linjen visar $y = x$. 49

Figur 22: Sambandet mellan mätteknik Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) som mätte pH kontinuerligt varje minut i ventrala våmsäcken och ett permanent kvarliggande pH mätningssystem eCow FarmBolus (eBolus) som mätte pH kontinuerligt varje minut i nätmagen under två dygn, men utdata visades som ett medelvärde var 15:e minut. Data från LRCpH gjordes om till medelvärde 15:e minut för att kunna vara jämförbart med eBolus. Det var totalt tre mätperioder och en mätperiod varade i fyra dygn. Den diagonala linjen visar $y = x$. 50

Figur 23: Sambandet mellan manuell provtagning av våmvätska som togs via våmfisteln i den ventrala våmsäcken varannan timme mellan 06:00 och 22:00 fördelat under två dygn och ett permanent kvarliggande pH mätningssystem eCow FarmBolus (eBolus) som mätte pH kontinuerligt varje minut i nätmagen under två dygn, men utdata visades som ett medelvärde var 15:e minut. Data från manuell provtagning gjordes om till medelvärde var 15:e minut för att kunna vara jämförbart med eBolus. Det var totalt tre mätperioder och en mätperiod varade i fyra dygn. Den diagonala linjen visar $y = x$. 50

Figur 24: Sambandet mellan manuell provtagning av våmvätska som togs via våmfisteln i den ventrala våmsäcken varannan timme mellan 06:00 och

22:00 fördelat under två dygn och ett permanent kvarliggande pH mätningssystem eCow FarmBolus (eBolus) som mätte pH kontinuerligt varje minut i ventrala våmsäcken men utdata visades som ett medelvärde var 15:e minut. Data från manuell provtagning gjordes om till medelvärde var 15:e minut för att kunna vara jämförbart med eBolus. Det var totalt tre mätperioder och en mätperiod varade i fyra dygn. Den diagonala linjen visar $y = x$.

51

Figur 25: Sambandet mellan permanent kvarliggande pH mätningssystem eCow FarmBolus (eBolus) som först registrerade våm-pH och efter två dygn flyttades eBolus till nätmagen för att registrera pH i två dygn. Registrering av pH gjordes varje minut men utdata var medelvärde var 15:e minut. Det var totalt tre mätperioder och en mätperiod varade i fyra dygn. Den diagonala linjen visar $y = x$.

51

Förkortningar

ATP- Adenosintrifosfat
ADC avläsning- Analog till digital omvandling
AMR- Automatisk Mjölkningskarusell
BC- Buffertkapacitet
CI- Tuggnings Index
eBolus- eCow FarmBolus
ECM- Energikorrigerad mjölk
EDTA- Etylendiamintetraättiksyra
ET- Ätindex
eNDF- Effektiv NDF
iNDF- Osmältbart NDF i foder
kdNDF- Nedbrytningshastigheten av pdNDF
LRCpH- Lethbridge Research Center pH measurement
NRC- Amerikanska National Research Council
NAD- Nikotinamidadenindinukleotid
NDF- Neutral Detergent Fiber
NEB- Negativ energibalans
NORFOR- Nordic Feed Evaluation System
OE- Omsättbar energi
peNDF- Fysikaliskt Effektivt NDF
pdNDF- Potentiellt nedbrytbart NDF i foder
PEF- Fysiskt effektiv faktor
RI- Idisslings Index
R²- Determinationskoefficienten
r- Korrelationskoefficienten
SARA- Subakut våmacidos
SRB- Svensk röd och vit boskap
TMR- Total Mixed Ration
ts- Torrsubstans
VFA- Flyktiga fettsyror

1 INTRODUKTION

Våmmens pH hos en lakterande ko är inte konstant under dygnet (Sjaastad et al., 2016). Mikroberna i våmmen kräver ett pH mellan 6-6,5 för att fungera (Hulsen & Aerden, 2014). Saliven har en betydande buffringskapacitet i våmmen (Allen, 1997). Upptag av flyktiga fettsyror (VFA) från våmmen till blodet reglerar våm-pH.

När en mjölkko går igenom en plötslig förändring i foderintag som innebär en ökad mängd icke strukturella kolhydrater eller sänkt konsumtion av fiber, kan våmacidos utvecklas. Våmacidos innebär att pH i våmmen sjunker (Kleen et al., 2003; Duffield et al., 2004; Plaizier et al., 2008). Våm-pH under 5,5 anses vara onormalt och kan indikera både subakut våmacidos (SARA) eller akut acidosis (Duffield et al., 2004). Om kon utvecklar våmacidos kan det leda till produktionsstörningar som kan innebära en ekonomisk förlust för lantbrukaren (Garett et al., 1997; Stone, 1999).

En foderstat med hög andel stärkelse är lätt att fermentera och ökar produktionen av VFA och mjölksyra vilket gör att våm-pH sjunker (Nocek, 1997). När pH sjunker till under 6 (Plaizier et al., 2008) ändras den mikrobiella profilen i våmmen vilket ger en ökad tillväxt av *Streptococcus bovis* och en ökad mjölksyraproduktion (Nocek, 1997). *Selenomonas ruminantium* och andra mikrober som utnyttjar och syntetiserar mjölksyra får en minskad tillväxt (Nocek, 1997). För att upprätthålla optimalt våm-pH kan fiberhalten ökas i foderstaten så att tuggaktivitet och salivproduktion stimuleras (Allen, 1997; Mertens, 1997) och VFA-produktionen minskas (Schulze et al., 2017).

Våmacidos är svårt att diagnostisera eftersom att det är en subakut sjukdom (Plaizier et al., 2008). Mätning av pH i våmvätska kan vara ett hjälpmedel för att kunna ge en indikation på våmacidos (Penner et al., 2006). Resultat och slutsatser av mätningarna kan öka kunskapen om risker i samband med utfodring och därmed minska förekomsten av våmacidos bland kor. Det finns utvecklade mätinstrument för att mäta våm-pH under experimentella- och fältstudier. Två mätinstrument som mäter våm-pH kontinuerligt under dygnet är: Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) ("Dascor LRCpH User's Guide," 2007) och eCow FarmBolus (eBolus) (*eBolus and Handset Research User Manual*, 2018). eBolus kan användas på intakta kor medan LRCpH kräver att kor har en permanent våmfistel. Uttagning av våmvätska för manuell provtagning av pH kan också utföras, då krävs det antingen att kon har permanent våmfistel eller att vätska från våmmen tas upp via svalget.

Syftet med detta projekt var att mäta normal variation av våm-pH hos mjölkkor kontinuerligt under tre mätperioder, där en mätperiod varade i fyra dygn, samt att undersöka pH-förändringar i samband med foderintag. Syftet var också att utvärdera tre olika metoder för att mäta våm-pH hos mjölkkor. Frågeställningar som skulle besvaras

var: Vilka tekniker har starkast samband? Hur ändras våm-pH vid foderintag? Är det skillnad i pH mellan ventrala våmsäcken och nätmagen? Är det skillnad i våm-pH mellan lakterande kor och sinkor? Är det skillnad i nätmagens pH mellan lakterande kor och sinkor? Hur kan våmacidos förebyggas? Är det skillnad mellan lakterande kor och sinkor i tiden och antal gånger våm-pH är under 5,8? Är pH-mätningar pålitliga?

2 LITTERATURGENOMGÅNG

2.1 Våmmen

2.1.1 Mikroorganismer i våmmen

Idisslaren och mikroorganismerna i våmmen lever i symbios med varandra. Våmmiljön är optimal för mikrobiell tillväxt och det är våm-pH som är avgörande för mikrobiell tillväxt och förändring av mikrobiella populationer (Nocek, 1997). Våm-pH är inte konstant utan varierar under dygnet (Zebeli et al., 2008). Våmbakterier är anpassade för att leva i en syrefrimiljö i pH 5,5 till 7,0 vid en temperatur på 39- 40°C (Hungate, 1966). Vid mikrobiell fermentering av foder produceras acetat, propionat och butyrat (VFA) samt aminosyror som är livsavgörande för energiförsörjningen till idisslaren (Russell & Wilson, 1996; Sjaastad et al., 2016).

I våmmen finns det bakterier, protozoer och svampar (Sjaastad et al., 2016). Den största andelen mikrober består av bakterier i storleksordningen 10^{10} /ml. Klassifikationen av bakterier i våmmen är primära våmbakterier som bryter ned kolhydrater och de är indelade i två subgrupper: *amylolytiska* och *cellulolytiska* bakterier. Sekundära våmbakterier utnyttjar produkter som producerats av primära våmbakterier.

Amylolytiska bakterier har en snabb tillväxt och spjälkar stärkelse och lösliga kolhydrater i foder (Hungate, 1966). *Amylolytiska* bakterier kan inte bryta ned β -glukosidbindningar som cellulosa eller hemicellulosa är uppbyggda av. Vid en hög andel kraftfoder i foderstaten till mjölkcor ökar tillväxten av *amylolytiska* bakterier (Hungate, 1966) och det är en viktig mikroorganismgrupp för idisslare som har en foderstat med hög andel stärkelse (Maroune & Bartos, 1987). Mjölksyra är en vanlig slutprodukt som bildas från de *amylolytiska* bakteriernas metabolism som också gör att mjölksyra ackumuleras i våmmen och våm-pH sänks vilket kan vara skadligt för kon (Hungate, 1966; Maroune & Bartos, 1987; Goff & Horst, 1997). *Streptococcus bovis*, *Bacteroides amylophilus* och *Bacteroides ruminicola* är exempel på några arter av *amylolytiska* bakterier (Hungate, 1966; Maroune & Bartos, 1987) och de har en hög tolerans mot lågt pH (Sjaastad et al., 2016).

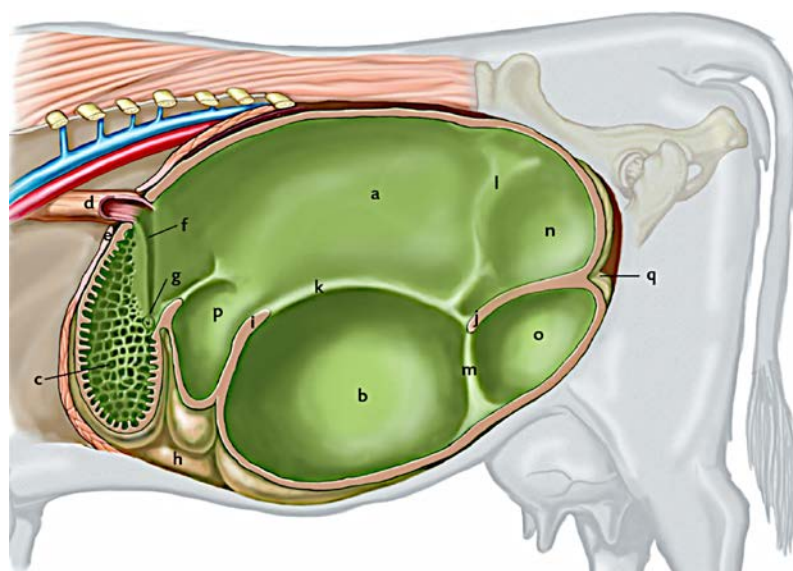
Cellulolytiska bakterier producerar enzymer som kan bryta ned cellulosa (Russell & Wilson, 1996). Vissa stammar av *cellulolytiska* bakterier kan också bryta ned stärkelse som till exempel stammar från *Butyrivibrio fibrisolvens* och *Bacteroides succinogenes*. De har en livstid på ca 18 timmar eftersom spjälkning av cellulosa och hemicellulosa tar

lång tid (Sjaastad et al., 2016). Vid våm-pH under 6 kan tillväxt av *cellulolytiska* bakterier inte ske och spjälkningen av cellulosa försämras (Russell & Wilson, 1996). Våmmen är ett komplext mikrobiellt ekosystem där några av de dominerande *cellulolytiska* arterna är: *Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens* och *Fibrobacter succinogenes* (Hungate, 1966; Russell and Wilson, 1996).

Sekundära våmbakterier som utnyttjar mjölksyra är *Selenomonas ruminantium*, *Propionibacterium shermanii* och *Megasphaera elsdenii* (Maroune & Bartos, 1987; Nocek, 1997; Owens et al., 1998). De är känsliga för lågt pH, vilket bidrar till försämrat avlägsnande av mjölksyra vid lågt våm-pH (Owens et al., 1998).

2.1.2 Våmmens anatomi

I våmmen finns det slemhinneveck som delar in våmmen i olika säckar: dorsal¹-, kranial²- och ventral³ våmsäck samt dorsokaudal⁴- och ventrokaudal⁵ blindsäck (Figur 1) (Sjaastad et al., 2016). Dessa olika säckar finns till för att hålla våminnehållet på plats när kon är i rörelse.



Figur 1: Illustration av våmmens olika säckar, a) Dorsal säck (mot ryggsidan), b) Ventral säck (mot buksidan), c) Nätmagen, d) Matstrupe, e) Diafragma, f) Matstrupens skåra g) Nätmagen- bladmagens öppning, h) Löpmagen, i) Cranial veck (mot huvudet), j) Kaudal veck (mot svansen), k) Längsgående veck l) Dorsal veck (från ryggsidan), m) Ventral veck (från buksidan), n) Dorso-kaudal blindsäck (mot rygg-svanssidan), o) Ventrokaudal blindsäck (mot buksidan), p) Cranial säck (mot huvudet), q) Kaudal tvärgående skåra (från svanssidan) (Sjaastad et al., 2016) Tillstånd av Scandinavian Veterinary Press.

I våmmen skiktas fodret i olika lager, vilket ger en optimal förutsättning för spjälkning och utvinning av näring för en idisslare (Tafaj et al., 2004) (Figur 2). Under fermentationen som sker i hela våmmen bildas gas (Sjaastad et al., 2016). Kontraktioner

¹ mot ryggsidan

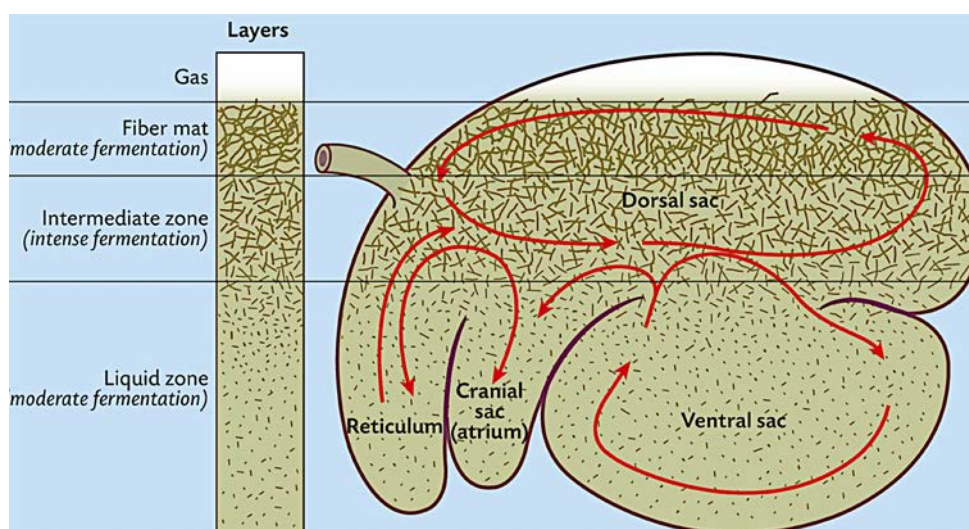
² mot huvudet

³ mot buksidan

⁴ mot rygg-svanssidan

⁵ mot buk-svanssidan

i våmmen gör att gasbubblor åker i dorsal⁶ riktning och bildar ett gaslager. Gasen består av koldioxid (CO₂), metan (CH₄), väte (H₂), kväve (N₂), syre (O₂) och en viss mängd vätesulfid (H₂S). Under gaslagret bildas en fibermatta med grovt och osmält fodermaterial som har lägre densitet än vatten (0,9-1 kg/l), vilket gör att partikelmassan flyter och torrsubstanshalten (ts) är mellan 10 och 15 %. I fibermattan sker en måttlig fermentering. Skiktet under fibermattan kallas den intermediära zonen där det sker intensiv fermentering och som följs av den flytande vätskezonen. I de två sista lagren har partiklarna en densitet på 1,1- 1,2 kg/l och en ts-halt på 4-6 %. Ts-halten i de olika skikten i våmmen påverkas av sammansättning och kvalitén av foder i kons foderstat (Tafaj et al., 2004). Densiteten hos partiklarna påverkar sedimenteringen i våmmen och partikelstorleken påverkar hur lång tid partikeln befinner sig i våmmen (Clauss et al., 2011).



Figur 2: Illustration av våmmens olika foderskikt (Sjaastad et al., 2016). Tillstånd av Scandinavian Veterinary Press.

För att fibermattan ska bildas, upprätthållas och bevara samma konsistens är den beroende av foderpartiklarnas storlek och densitet (Tafaj et al., 2004; Clauss et al., 2011). Fibermattan som bildas i våmmen har två viktiga fysiologiska funktioner (Poppi et al., 2001; Tafaj et al., 2004; Zebeli et al., 2012). Den första fysiologiska funktionen är att optimera miljön för mikroorganismer, speciellt våm-pH genom idissling, salivutsöndring och rörelse i våmmen. Den andra fysiologiska funktionen är att bibehålla foderpartiklar en längre tid i våmmen vilket ger en mer effektiv nedbrytning av fiber. Bildandet och upprätthållandet av dessa foderskikt i våmmen beror på mängden och kvalitén av de strukturella kolhydrater som finns i sin foderstat samt nedbrytningshastigheten av strukturella kolhydrater i våmfibermattan (Tafaj et al., 2004).

Tafaj et al. (2004) studerade sammansättningen och metabolismen i de olika foderskikten i våmmen hos mjölkkor. Studien visade att koncentrationen av kortkedjiga fettsyror var högre och våm-pH lägre i dorsala delen av våmmen vilket påvisar högre fermenteringsaktivitet i det fasta våminnehållet. Förmodligen är detta relaterat till den högre koncentrationen av substrat och bakterier som finns i det fasta våminnehållet, speciellt *cellulolytiska* bakterier som fäster på partiklar i våmmen (Tafaj et al., 2004).

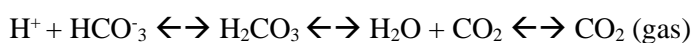
⁶ mot ryggsidan

Neubauer et al. (2018) utförde manuell provtagning från kor med permanent våmfistel från två olika ställen i våmmen: fri våmvätska från ventrala våmsäcken och våmvätska från fibermattan. I den sistnämnda togs våminnehåll ut och vätska kramades ur. I studien var pH i fri våmvätska $6,18 \pm 0,02$ och pH i våmvätska från fibermattan var $6,43 \pm 0,02$ vilket var en signifikant skillnad mellan dessa två olika våmvätskor.

2.2 VFA-upptag och buffring i våmmen

2.2.1 Salivens buffertkapacitet

I våmmen bildas vätejoner som absorberas som VFA (Allen, 1997). Vätejoner som är kvar i våmmen måste avlägsnas för att upprätthålla våm-pH vilket sker bland annat via buffring och alkalisering från saliven, foder och fodernedbrytningsprodukter. Den viktigaste mekanismen för att avlägsna vätejoner från våmmen är saliven som innehåller bikarbonat och vätefosfatjoner. Koncentrationen av bikarbonat har uppmätts till 126 meq/l och mängden fosfat till 26 meq/l i mixad saliv från nötkreatur (Bailey & Balch, 1961). Vätefosfatsystemet avlägsnar vätejoner genom bladmagens öppning i form av divätefosfat (Allen, 1997). I bikarbonatsystemet är vätejoner inkorporerade i vatten genom dehydrering av kolsyra:



Vid pH 6 absorberas VFA och avlägsnar cirka 53 % av de totala fria vätejonerna. Mer än 28 % av vätejonerna inkorporeras i vatten via bikarbonatsystemet och ungefär 9 % vätejoner flödar ut genom bladmagens öppning som divätefosfat (Allen, 1997). Salivflödes hastigheten varierar med tuggaktivitet. I en studie av Cassida & Stokes (1986) var salivflödes hastighet under vila 151 ml/min och vid foderintag 177 ml/min för en äldre Holsteinko i tidig laktation. Från vecka fyra till vecka åtta efter kalvningen ökade salivflödes hastigheten för en ko i vila från 130 till 173 ml/min (Cassida & Stokes, 1986).

Salivens buffertflöde bestäms utifrån produkten av salivflödes hastighet och salivens buffertkapacitet (BC) (Allen, 1997). Salivens buffertflöde var ungefär 152 meq/l saliv och den totala salivflödes hastigheten för en lakterande ko som åt under 270 min/dygn och idisslade under 400 min/ dygn var uppskattad till 250 l/dygn (Cassida & Stokes, 1986).

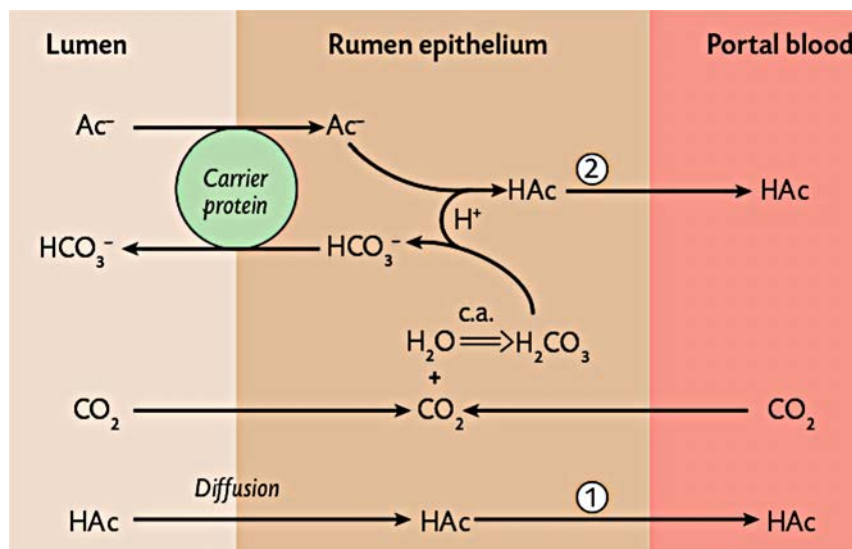
Buffertkapaciteten (BC) för olika fodermedel varierar: spannmål har låg BC, foder med låg proteinhalt och ensilage har intermediär BC och baljväxter och foder med hög proteinhalt har hög BC (Allen, 1997). För kor med en normal våmfunktion har BC för olika fodermedel en liten buffertpåverkan (Allen, 1997). Buffring från foder uppstår för det mesta när våm-pH är under 5.

Generellt ökar VFA-koncentrationen och våm-pH sjunker efter foderintag hos en mjölkko (Dijkstra et al., 2012). Flera studier där pH har mätts under en kontinuerlig period har visat att våm-pH sjunker efter utfodring (Allen, 1997; Krause & Combs, 2003; Yang & Beauchemin, 2007) samt att våm-pH stiger vid idissling (Allen, 1997). En ko som utfodrades med en hög andel kraftfoder, hade på morgonen innan utfodring, våm-

pH 6,6 (Zebeli et al., 2008). Några timmar efter foderintaget ökade VFA-produktionen och pH sjönk till mellan 5,0 och 5,3.

2.2.2 VFA-upptag i våmmen

I våmmens mediala⁷ del sker den största mikrobiella fermenteringen av foder och produktionen av VFA (Schulze et al., 2017). Absorptionen av VFA sker i våmepitelet exempelvis i ventrala våmsäcken. Genom våmepitelet tas VFA upp till blodet genom två olika mekanismer (Aschenbach et al., 2009; Sjaastad et al., 2016). Den ena mekanismen är genom enkel diffusion av odissocierad VFA (HAc) från våmmen till blodet. Den andra mekanismen är co-transport av VFA anjoner (Ac^-) i utbyte mot bikarbonat (Figur 3) (Dijkstra et al., 2012). Från våmmen och blodet absorberas koldioxid till våmepitelet, vilken reagerar med vatten och bildar kolsyra. När co-transporten av Ac^- sker avger kolsyran ett väte till Ac^- som bildar HAc, vilken diffunderar ut till blodet och bikarbonat transporteras in till våmmen (Figur 3) (Sjaastad et al., 2016). Ungefär hälften av den VFA som absorberas är odissocierad VFA genom enkel diffusion och resterande absorberas som anjoner med co-transport i utbyte mot bikarbonat.



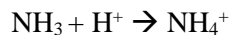
Figur 3: Illustration av VFA-upptag från våmmen till blodet.

HAc: odissocierade VFA, Ac^- : VFA anjon, HCO_3^- : bikarbonat, CO_2 : koldioxid, H_2O : vatten, H_2CO_3 : kolsyra, H^+ : väte (Sjaastad et al., 2016). Tillstånd av Scandinavian Veterinary Press.

2.2.3 Ammoniumjonproduktion

I våmmen bryts protein ned till ammoniak som har en förmåga att neutralisera våmpH (McDonald et al., 2011). När ammoniak upplöses i vätska och reagerar med väte bildas ammoniumjoner:

⁷ mot mittlinjen

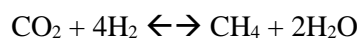


Mikroberna behöver ammoniumjoner (NH_4^+) för att proteinsyntesen ska fungera (Satter & Slyter, 1974). Ammoniakkoncentrationen varierar beroende på vilken foderstat kon får. När våm-pH sjunker från 6,7 till 5,7 som sker vid foderstater med hög andel koncentrat och låg andel grovfoder halveras den mikrobiella proteinproduktionen (Satter & Slyter, 1974).

2.2.4 Metanproduktion

I våmmen är det en anaerob miljö som ger upphov till metanproduktion (Börjesson et al., 2019). Metanproduktionen sker i symbios mellan protozoer och metanogena arkéer, som är encelliga bakterieliknande organismer. Protozoer antas stå för den största andelen av väteproduktionen som sedan utnyttjas av metanogener. Metanogener kan delas in i två olika grupper beroende på vilken metabolisk väg som metanogenerna utnyttjar. En grupp kallas acetatotrofer som spjälkar acetat och den andra gruppen kallas hydrogenotrofer som använder vätgas och koldioxid. Kolhydrater bryts ned till glukos och andra monosackarider som bildar pyruvat (Danielsson, 2016). När detta sker reduceras nikotinamidadenindinukleotid (NAD^+) till NADH som sedan måste återoxideras till NAD^+ för att slutföra fermenteringen. Under återoxideringen bildas även vätgas. Vätgas är det vanligaste substratet vid formation av metan. Metanproduktionen kallas metanogenesen, det är då metanogenerna får sin energi i form av adenosintrifosfat (ATP). I en vanlig djurcell bildas NADH från NAD^+ genom elektrontransportkedjan där den sista elektronmottagaren är syre för att kunna bilda energi i form av ATP. Eftersom det är en anaerob miljö i våmmen måste metanogenerna hitta en annan väg för att bilda ATP vilket då är genom metanogenesen. Formation av metan sänker vätejonkoncentrationen i våmmen vilket bidrar till att neutralisera våm-pH (Sjaastad et al., 2016). Formationen av metan möjliggör formation av vätgas och regenerering av NAD^+ för att skapa ATP.

Metanogenesen:



2.3 Olika foderkomponenters påverkan på våm-pH

2.3.1 Kolhydrater

Den största foderkomponenten i en foderstat för mjölkkor är kolhydrater (Volden, 2011). Kolhydrater fungerar som näring till mikroberna och bidrar därmed till mikrobiell tillväxt. Slutprodukterna från mikrobiell fermentering av kolhydrater är den största tillgången av näringsämnen för kon. En faktor som påverkar våm-pH, våmmiljö och

foderutnyttjande är nedbrytningshastigheten av kolhydrater i våmmen. En balans mellan olika kolhydratgrupper är grundläggande för att bevara normal våmfunktion och få en optimal fermentering i våmmen. Kolhydrater kan delas in i två huvudgrupper, strukturella och icke strukturella. Definitionen av strukturella kolhydrater är växtens cellvägg som består bland annat av cellulosa, pektin och hemicellulosa (Mcdonald et al., 2011; Volden, 2011). Neutral detergent fiber (NDF) består huvudsakligen av cellulosa, hemicellulosa och lignin (vilket inte är en kolhydrat) och kan betraktas som ett mått på växtens cellvägg. Vid kokning av en neutral blandning med natriumlaurylsulfat och etylendiamintetraättiksyra (EDTA) kan ett NDF-värde räknas ut (Van Soest et al., 1991; Mcdonald et al., 2011). Denna metod är vanlig och utfodringsrekommendationer är baserade utifrån detta för att det är en standardiserad metod för att utvinna NDF-värdet. Icke strukturella kolhydrater är stärkelse, socker, pektiner och β -glukaner.

2.3.2 Icke strukturella kolhydrater

Stärkelse bryts ned till glukosmolekyler och fermenteras av mikroberna och ökar VFA- och mjölksyraproduktion vilket gör att våm-pH sjunker (Nocek, 1997). När pH sjunker till mellan 5,6 och 6,0 (Plaizier et al., 2008) ändras den mikrobiella profilen i våmmen vilket ger en tillväxt av *Streptococcus bovis* och en ökad mjölksyraproduktion sker. Samtidigt minskar andelen *Selenomonas ruminantium* och andra mikrober som utnyttjar och syntetiserar mjölksyra (Nocek, 1997). Ackumulering av mjölksyra sker när laktatproducerande bakterier är fler i antal än laktatutnyttjande bakterier och när pH i våmmen sjunker för lågt, vilket detta kan leda till våmacidos (Owens et al., 1998). Mjölksyran som bildas konverteras till propionat (Sjaastad et al., 2016). Slutprodukten från fermenteringen ändras från acetat till propionat och förhållandet mellan acetat: propionat minskar vilket kan associeras till fetthaltsdepression (Mertens, 2000). En ökad andel icke strukturella kolhydrater och en minskning av partikelstorlek i grovfoder ökar propionatproduktionen i våmmen (Krause et al., 2002).

Martin et al. (2011) gjorde en 2x2 crossover experimentell design med fyra icke lakterande Jerseykor som fick två olika foderstater. Den ena var en grovfoderbaserad foderstat som bestod av 93 % ängsgröe och 7 % vetehalm på ts-basis. Den andra foderstaten var baserad på kraftfoder och bestod av 60 % pelleterat korn, 33 % ängsgröe och 7 % vetehalm. Intag av kraftfoder ökade den *amylolytiska* aktiviteten och våm-pH var lägre hos de kor som utfodrades med mera kraftfoder. Tillväxten av *amylolytiska* mikrober kan ha skett för att det fanns högre andel substrat i form av fria glukosmolekyler tillgängligt för mikroberna (Owens et al., 1998). En ökad koncentration av glukos, VFA och vätejoner ökar våmmens osmolalitet som hämmar absorptionen av VFA (Owens et al., 1998). Osmolalitet är totala upplösta molekyler eller joner per kilogram vatten (Sjaastad et al., 2016).

2.3.3 Strukturella kolhydrater

Nordic Feed Evaluation System (NorFor)

Enligt Nordic Feed Evaluation System (NorFor) fodervärderingssystem definieras grovfoder och kraftfoder utifrån partikellängd. Partikellängd ≤ 6 mm definieras som ett

kraftfoder och en partikellängd >6 mm definieras som ett grovfoder. Enligt NorFor anses partikellängd över 0,7 mm vara tillräcklig för att stimulera idissling (Volden, 2011). Tiden kon står och äter påverkas av partikelstorlek och våmfermenterbara kolhydrater (Krause et al., 2002). Med en ökad partikelstorlek minskar antalet måltider medan ät- och idisslingstiden ökar.

NorFor kategoriserar NDF i två olika grupper: osmältbart NDF i foder (iNDF) och potentiellt nedbrytbart NDF i foder (pdNDF). Genom *in sacco* inkubation i våmmen i 288 timmar kan iNDF-koncentrationen bestämmas i ett foder och pdNDF beräknas genom skillnaden av totala NDF-halten och iNDF. NorFor räknar också ut nedbrytningshastigheten av pdNDF (kdNDF). Det uppskattade kdNDF värdet i grovfoder beräknas genom en kombination av *in vivo* totala nedbrytningen av organiskt material (OMD, %) och iNDF. (Volden, 2011).

NorFor använder tuggindex (CI) min/kg ts för att uppskatta fysikalisk effektivitet och för att beräkna minimummängden av stora partiklar som krävs för att upprätthålla en god våmmiljö. För att räkna ut CI summeras ätindex (EI) min/kg ts och idisslingsindex (RI) min/kg ts för alla fodertyper. Ätindex (EI) reflekterar tuggaktivitet och beräknas utifrån partikellängd och NDF-halt i fodret. Idisslingsindex (RI) beräknas utifrån partikellängd, NDF-innehåll och en hårdhetsfaktor som är beroende av iNDF-innehållet i ett foder. Hårdhetsfaktorn reflekterar lignifiering av fibern i foder. Rekommenderat minimum för CI är 32 minuter per kg ts för stora raser och 30 minuter per kg ts för rasen Jersey. (Volden, 2011).

Fysikaliskt effektivt NDF (peNDF)

Mertens (1997) föreslog ett fodervärderingsystem för Amerikanska National Research Council (NRC) vilket skulle kategorisera NDF i effektiv NDF (eNDF) som bibehåller mjölkfett och fysikaliskt effektivt NDF (peNDF) som stimulerar tuggaktivitet och är en underavdelning av eNDF (Allen, 1997; Mertens, 2000; National Research Council (U.S.), 2001). Fysikaliskt effektivt NDF (peNDF) är relaterad till egenskaper i fiber som stimulerar tuggaktivitet och idissling så som partikelstorlek, vilket skapar skiktning av våminnehåll och ger en optimal våmmiljö (Mertens, 1997). Enligt NRC (2001) finns det dock inte tillräckligt standardiserade och validerade metoder för att mäta eller veta behovet av peNDF för mjölkkor, för att kunna tillämpa detta koncept (National Research Council (U.S.), 2001). Konceptet peNDF är en del i att få en kvantifiering av kemiska och fysikaliska egenskaper av fiber till ett enda mått. Produkten av fodrets NDF-innehåll och fodrets fysiskt effektiv faktor (PEF) är det uppskattade peNDF värdet (Mertens, 1997). Genom att bestämma PEF kan NDF delas in i olika klasser beroende på tuggaktiviteten de stimulerar. Faktorn PEF varierar från 0 till 1, där 0 innebär att NDF i foder inte stimulerar någon tuggaktivitet och 1 innebär att NDF i foder främjar maximal tuggaktivitet (Mertens, 1997). Faktorn PEF beräknas utifrån metoden Penn State Particle Separator och adderar andelen av foder som stannat på en 19,0 mm sikt och 8,0 mm sikt (Yang & Beauchemin, 2007). Penn State Particle Separator är ett billigt och snabbt sätt att analysera partikelstorlek i foder (Kononoff & Heinrichs, 2003). Genom denna metod separeras foderpartiklar utifrån storlek med hjälp av olika siktar vilket är >19,0 mm, mellan 19,00 mm och 8,0 mm och <8,0 mm. En ökning av peNDF upp till 31,2± 1,6 % av ts-basis, höjde signifikant våm-pH (Zebeli et al., 2008). Foderstater med 22 % peNDF av totala ts basis upprätthöll medel våm-pH vid 6 (Mertens, 1997).

I en studie av Yang & Beauchemin (2007) fick åtta lakterande kor med våmfistel en av fyra foderstater med lång och kort partikellängd kombinerat med låg respektive hög grovfoderandel 35 eller 60 % av ts. För att mäta partikellängden användes Penn State Particle Separator. Intag av peNDF ökade med partikellängd och andelen grovfoder i dieten. En ökad grovfoderandel ökade andelen partiklar som hölls kvar på 19,0 och 8,0 mm sikt och minskade andel partiklar som hölls kvar på 1,18 mm sikt. Dygnsvariationen av våm-pH var större när korna fick låg grovfoderandel jämfört med hög grovfoderandel. Ett ökat intag av peNDF ökade medel våm-pH och våm-pH var kortare tid under 5,8 vilket tydde på minskad risk för våmacidos. En ökad fiberandel i foderstaten ökade tuggaktiviteten och minskade foderintaget på grund av våmfyllnad. Genom en ökad peNDF i foderstaten ökade våm-pH och gav generellt en förbättrad våmmiljö.

2.4 Utfodringsstrategier

Det finns tre olika indelningar av utfodringssystem, en heter fullfoder (TMR) där allt kraftfoder ges i en blandning tillsammans med grovfodret. En annan heter blandfoder (PMR) där en del av kraftfodret blandas med grovfodret och resten av kraftfodret ges i kraftfoderstationer eller i mjölkningsrobot. Den sista kallas separat utfodring där kraftfoder och grovfoder ges separat (Växa Sverige, 2019).

2.4.1 Fullfoders påverkan på våm-pH

Vid en fullfoderstrategi blandas kraftfoder och grovfoder till en homogen mix vilket gör att varje tugga som kon tar ska innehålla en balanserad mängd näringsämnen (Coppock, 1977). En tugga från en fullfodermix innehåller en liten mängd kraftfoder vilket kan bidra med att stabilisera våm-pH (Arvidsson, 2003). Efter en kraftfodergiva sjunker pH drastiskt och försämrar spjälkning av grovfoder, vilket bidrar till sänkt passagehastighet och lägre ts-intag (Wilkinson, 1996). En studie av Greter et al. (2010) visade att kvigor som utfodrade med TMR hade ett högre intag av NDF än om de fick kraftfoder separat. Det visades att kvigor som fick TMR hade ett jämnare ätmönster, minimerad sortering och fastare träck. Fullfoder rekommenderas i studien för att upprätthålla ett stabilt pH i våmmen.

2.4.2 Antal utfodringar av kraftfoder per dygn

French & Kenenelly (1990) påvisade att medel våm-pH inte påverkades av antal gånger utfodring av kraftfoder skedde men att dygnsvariationen påverkades mer markant på de kor som utfodras två gånger per dygn än de kor som utfodrades 12 gånger per dygn. De kor som utfodrades med kraftfoder två gånger om dagen hade en lägre koncentration av acetat och högre koncentration av propionat samt ett lägre våm-pH än korna som utfodrades med kraftfoder 12 gånger om dygn. De kor som utfodrades med kraftfoder två gånger per dygn fick ett lägre våm-pH efter kraftfoderintag och det tog lägre tid för våm-pH att återställa sig till det normala än de kor som utfodrades med kraftfoder 12 gånger per dygn. När foderstaten är uppdelad i många små mål per dygn blir det lägre syraproduktion per mål vilket håller våm-pH mer stabilt och ett högre genomsnittligt pH-värde i våmmen (Hulsen & Aerden, 2014)

2.5 Foderbeteende

I medeltal äter kor 330 min/ dygn och idisslar i medeltal 511 min/dygn och korna äter i medeltal 8,3 gånger/dygn (Albright, 1993). Kor har ett välutvecklat smaksinne och foder kan då manipuleras till att passa kon både smakmässigt och nutritionsmässigt (Albright, 1993). Foder med hög näringsdensitet har generellt oftast en hög smaklighet och kon kan välja utifrån tidigare erfarenheter och smaklighet vad hon vill äta (Provenza & Balph, 1987).

2.5.1 Påverkan på våm-pH vid sortering av foder

Det finns en hypotes om att risken att utveckla våmacidos ökar när kon sorterar i fullfoder (TMR) (DeVries *et al.*, 2008). Ett typisk beteende för kon är att hon sorterar mot korta partiklar och sorterar bort långa partiklar och fysikaliskt effektivt fiber. DeVries *et al.* (2007) påvisade att kor med låg andel grovfoder i foderstaten fick ett mycket lägre intag av fysikaliskt effektivt fiber en vad som var förutsatt på grund av sortering. Oavsett vad sorteringsbeteendet utvecklas från så kan detta vara problematiskt för kor med högrisk att utveckla våmacidos (DeVries *et al.*, 2008).

Kor i tidig laktation sorterar mer för kraftfoder och får en foderstat som innehåller en lägre andel fiber kopplat med ett ökat torrsubstansintag (Kertz *et al.*, 1991), vilket resulterar i ett högt intag av fermenterbara kolhydrater och ökar att kon sorterar bort fysikaliskt effektivt fiber. Sortering antas öka VFA produktionen, minska buffertkapaciteten och kan öka risken att utveckla subakut våmacidos (Cook *et al.*, 2004; Stone, 2004; Krause and Oetzel, 2006; DeVries *et al.*, 2008).

2.6 Våmacidos

Mjölkkproduktionen per ko har mer än fördubblats under de senaste 40 åren vilket beror på genetisk selektion samt förbättrad utfodring och skötsel (Oltenu & Broom, 2010). Högre mjölkkproduktion kräver högre densitet av näringsämnen i foderstaten (Plaizier et al., 2008). För att upprätthålla en hög mjölkkproduktion har därför andelen kraftfoder ökat och andelen grovfoder minskat i foderstaten till mjölkkor. Detta kan leda till ackumulering av VFA och laktat i våmmen som sänker pH och med våmacidos och subakut våmacidos som följd (Nocek, 1997). Våmacidos påverkar foderintag, mjölkkproduktion, mikrofloran i våmmen, våmmens förmåga att spjälka foder och kan även skada slemhinnorna i våmmen (Nocek, 1997; Kleen et al., 2003). Våmacidos kan också orsaka diarré, fång och bilda bölder i levern hos mjölkkor.

Våmacidos hos mjölkkor definieras av onormalt lågt pH i våmmen (Kleen et al., 2003; Duffield et al., 2004; Plaizier et al., 2008). Våm-pH under 5,5 anses vara onormalt och kan indikera SARA eller akut acidosis (Duffield et al., 2004). Våm-pH sjunker när ackumulering av organiska syror så som VFA och mjölksyra sker snabbare än vad buffringen och absorbering i våmmen kan ske (Plaizier et al., 2008). Det finns flera olika tröskelvärden för våmacidos, bland annat antal gånger våm-pH är under 5,8 och den totala tiden som våm-pH är under 5,8 (Zebeli et al., 2008; Plaizier et al., 2008; Neubauer et al., 2018).

Perioden från att vara sinko till att börja laktera kan vara stressig för kon då flera olika omställningar så som kalvning, mjölkbildning, lågt foderintag, inhysnings- och gruppförändringar sker (Kleen et al., 2003). Detta gör att kon kan utveckla negativ energibalans (NEB), minska i hull, drabbas av acetonemi och vara mer känslig för sjukdomar. Förutom ändring av inhysning och gruppammansättning efter kalvning, måste kon anpassa sig till en foderstat som ofta har hög andel kraftfoder. Foderstaten för en lakterande ko innehåller en högre andel icke strukturella kolhydrater än vad foderstaten under sinperioden består av. Detta utsätter kon för en hög risk att utveckla SARA (Nocek, 1997).

Våmacidos kan utvecklas i tidig laktation på grund av att mikrofloran i våmmen inte har anpassat sig till en foderstat med hög andel icke strukturella kolhydrater samt att slemhinnan i våmmen är mindre utvecklad för att kunna absorbera VFA (Kleen et al., 2003). Förekomsten av våmacidos är som högst en månad efter kalvning (Nocek, 1997). Våmacidos kan också utvecklas i mitten av laktationsperioden och då är sjukdomen kopplad till skötsel, utfodringsfrekvens, bearbetning av foder, partikelstorlek, för hög andel kraftfoder och för låg andel fiber i foderstaten (Kleen et al., 2003).

Det är svårt att diagnostisera våmacidos eftersom kon visar diffusa symptom, vilket gör att det finns en begränsad information i dagsläget om utbredningen av sjukdomen (Plaizier et al., 2008). En studie på 15 gårdar i Wisconsin visade att utbredningen av SARA hos kor i tidig laktation var 19 % och medan den hos kor i mitten av laktationsperioden var 26 % (Garett et al., 1997). En fältstudie i New York visade att effekten av SARA minskade mjölmängden med 2,7 kg per dag, mjölkfetthalten med 0,3 % och mjölkproteinhalten med 0,12 % (Stone, 1999). Beräkningar visade att minskningen i mjölkfetthalten och mjölkproteinhalten gav en förlust för lantbrukaren på \$400 per ko och laktation. I Sverige registreras inte våmacidos utan de sjukdomar som registreras är acetonemi, löpmagsförskjutning och klövsjukdomar (*Husdjursstatistik*,

2018). Det är därför svårt att veta hur sjukdomsläget gällande våmacidos ser ut bland de svenska mjölkorna.

2.6.1 Ätbeteende vid risk för våmacidos

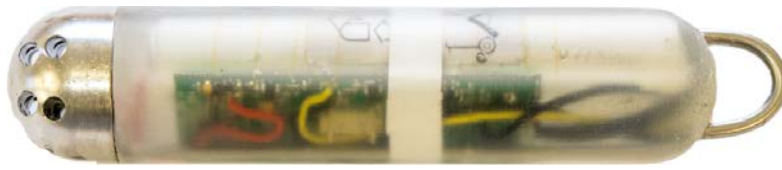
En studie av DeVries *et al.* (2008) hade som syfte att ta reda på huruvida en lakterande ko som har hög eller låg risk för våmacidos skiljer sig i fodersorteringsbeteende och hur denna sortering relateras till mätningar av våm-pH. I studien ingick åtta fistulerade kor som delades in i två olika riskgrupper för att utveckla våmacidos. En lågriskgrupp där korna var i mittlaktation med en foderstat med 60 % grovfoder samt en högriskgrupp då korna var i tidig laktation och foderstaten bestod av 45 % grovfoder. Korna utsattes för en våmacidos utmaning i varje riskgrupp vilket varade under 14 dagar vardera. Varje utmaningsperiod bestod av tre bas-dagar (dag 1,2,3) med *ad libitum* TMR och då mättes det dagliga intaget för varje ko. Dag 4 begränsades TMR till 50 % av *ad libitum*. Dag 5 var en acidoutmaning vilket innebar utfodring med 4 kg korn och vete en timme innan utfodring av TMR. Dag 6 till 14 var kornas återhämningsperiod. Våm-pH mättes kontinuerligt under nio dygn vid varje period med LRCpH. Slutsatsen var att sorteringsbeteendet förändrades med respons av acidosis. För högriskgruppen med svår våmacidos associerades en ökad sortering för längre partiklar i fodret och inte mot små partiklar, troligtvis för att minska risken att våm-pH ska sjunka ännu lägre.

2.7 pH-sensortekniker för att mäta våm-pH

Det finns utvecklade tekniker för att mäta våm-pH experimentellt, under fältstudier och även som ett hjälpmedel i kommersiella besättningar. Manuella mätningar av våm-pH kan göras när våmvätska har samlats in (Neubauer *et al.*, 2018). Detta kan ske genom en våmfistel eller en slang som förs ned via svalget på kon eller genom rumenocentesis som innebär att en nål sticks in genom kons hud via vänstra buksidan in i ventrala våmsäcken vilket inte görs i Sverige men i USA (Penner *et al.*, 2006). Mätning av pH i våmvätska kan också göras genom att sätta in en pH-sensor i våmmen på kon (Duffield *et al.*, 2004). Det finns olika tekniker att använda sig av beroende på om det är ute i fält hos en lantbrukare eller på en försöksgård som har tillgång till våmfistulerade kor. Detta kommer att presenteras i kommande avsnitt.

2.7.1 eCow FarmBolus (eBolus)

eCow FarmBolus (Ecow, Clyst Honiton, Storbritanien) (eBolus) mäter pH och temperatur kontinuerligt. eBolus kan användas som hjälpmedel i kommersiella besättningar och inom forskning. eBolus är 135 mm lång, 27 mm i diameter och väger 150 gram (Figur 4) (*eBolus and Handset Research User Manual*, 2018).



Figur 4: eCow FarmBolus (*eBolus and Handset Research User Manual*, 2018). Tillstånd av eCow FarmBolus.

eBolus är en teknik med ett permanent kvarliggande pH mätningssystem som lantbrukaren själv kan föra ned i svalget på kon och där kommer eBolusen att befinna sig tills att kon avlivas (Mottram et al., 2008: (*eBolus and Handset Research User Manual*, 2018). eCow FarmBolus (eBolus) ställer sig lodrätt i botten av nätmagen och mäter pH i ca fem månader. I en studie av Mottram et al (2008) visades det att våm-pH mättes konstant $\pm 0,2$ pH enheter men efter 35 dygn skiljde sig mätningarna mellan eBolus och referens pH-mätningarna.

Neubauer et al (2018) gjorde en studie där syftet var att studera noggrannhet och precisionen hos eBolus. Denna metod jämfördes med manuell mätning av våm-pH från fri våmvätska och våmvätska från fibermattan vid olika foderstater. Syftet var också att definiera en pH-tröskel för SARA vid mätning av nätmagens pH med hjälp av eBolus. Mätningar av pH gjorde i ungefär 24 veckor för att få en god grund för statistisk analys. Resultatet visade att medel-pH i nätmagen var högre än pH mätt i våmmen, och skillnaden blev större efter kraftfoderintag. Medel-pH i nätmagen var $6,62 \pm 0,02$, medel-pH i fri våmvätska $6,43 \pm 0,02$ och medel-pH i våmvätska från fibermattan var $6,18 \pm 0,02$. Att mäta pH i nätmagen kunde detektera pH-förändringar i våmmen och studiens författare rekommenderar en pH-tröskel för SARA vid 6,0 i nätmagen. Pearsons korrelationskoefficient (r) mellan eBolus och fri våmvätska var 0,83 och mellan eBolus i våmvätska från fibermattan var 0,79. Det höga r -värdet anger att det är en hög korrelation mellan båda mätningarna (Neubauer et al., 2018).

I en studie av Falk et al (2016) användes eBolus mättekniken och uppmätte att nätmagens medel-pH var 6,35 och med LRCpH mättes våmmens medel-pH 6,11. Det var signifikant att nätmagens pH var högre än pH i våmmen. Det visades vara mindre fluktuation i nätmagens pH över 48 timmar och mindre variation jämfört med våm-pH. Standardavvikelsen för nätmagen var 0,19 pH enheter och för våmmen 0,51 pH enheter (Falk et al., 2016).

2.7.2 Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH)

Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) är en teknik som mäter pH och temperatur kontinuerligt. LRCpH är utvecklad med en datalogger, ett 9-V batteri och en elektrod kabel och allt är inkapslat i en vattentät kapsel som är konstruerad av polyvinylkloridmaterial (Figur 5) ("Dascor LRCpH User's Guide," 2007). LRCpH kräver kor med permanent våmfistel. LRCpH tekniken öppnar möjligheter för forskare att mäta våm-pH under en period med hög noggrannhet (Penner et al., 2006). Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) kan användas i lösdriftsstallar och på bete. Penner et al. (2006) jämförde LRCpH med manuell provtagning av våmvätska och använde procedur mixed i SAS för att få reda på korrelationskoefficienten (r). Sambandet mellan manuell provtagning av våmvätska och LRCpH som registrerade pH

varje minut var $r = 0,98$. Korrelationskoefficient var korrigerad för upprepade mätningar och Lin's Concordance korrelationskoefficient (ρ_c) användes i Penner et al. (2006) studie och påvisade att LRCpH reflekterade manuell pH-mätning mer korrekt och noggrant än vad ett annat kvarliggande pH mätningssystem gjorde.



Figur 5: LRCpH med två 900 grams vikter (Foto: Veronica Furenbäck).

3 MATERIAL OCH METODER

3.1 Djur och foder

Försöket utfördes vid SLU forskningscentrum Lövsta i Uppsala. Experimentet varade i fem veckor och var uppdelat i tre mätperioder, där varje mätperiod varade i fyra dygn (Period 1: dag 1-5, Period 2: dag 15-19, Period 3: dag 29-33). Mellan varje datainsamlingsperiod fick korna vila i nio dagar.

Det ingick fyra kor av rasen svensk röd och vit boskap (SRB) med permanent våmfistel (Figur 6 & 7). Två av korna var lakterande och gick i lösdrift och mjölkades två gånger per dag i automatisk mjölkningskarusell (AMR) (Resursbeskrivning för sluväst, 2017). Utfodringsstrategin vid SLU var separat utfodring för de lakterande korna. De lakterande korna hade tillgång *ad libitum* till ensilage med 1 % inblandning av halm på ts-basis samt totalt 14-15 kg kraftfoder per dygn på ts-basis. Kraftfodret i foderstaten bestod av ett färdigfoder; Komplet Fiber 170 som utfodrades 11-13 kg per dygn och ett kompletteringsfoder; Konkret Mega 28 som utfodrades 3-4 kg per dygn (Lantmännen, Malmö, Sverige). Kraftfoder gavs via kraftfoderstationer. Foderintag för ensilage och kraftfoder registrerades för de två lakterande korna. De lakterande korna hade en medelavkastning per dygn på 30 och 40 kg mjölk. De andra två korna var sinade och gick i lösdrift i ungdjursstallet och utfodrades *ad libitum* i period 1 med 25 % halm och 75 % ensilage och mineraler (Effektiv kalv, Lantmännen, Malmö, Sverige) på ts-basis. I period 2-3 utfodrades sinkorna *ad libitum* 80 % helsädesensilage av korn, 20 % ensilage och mineraler (Effektiv kalv, Lantmännen, Malmö, Sverige) på ts-basis.

Fodret analyserades enligt stallets generella rutiner: Prov samlades in från ensilaget varje dag (mån-fre) och poolades i tvåveckorsperioder innan analys. Foderprov från kraftfodret togs vid foderleverans och utgjordes av ett prov. Analysvärdena på ensilaget och kraftfodret, både för de lakterande korna och för sinkorna, hann tyvärr inte bli klara i tid för denna uppsats och därför användes det senaste analysvärdet för samma silo (ca två veckor innan försöket startade) för att beräkna ts-intag. Eftersom mängden konsumerat foder inte har någon avgörande betydelse för resultatet i den här studien ansågs det som en tillräckligt bra bas för beräkningarna.



Figur 6: Sinko med våmfistel (Foto: Veronica Furenbäck, 2018).



Figur 7: Våmfistel på en sinko. Den ljusa silikonlisten är våmfistelinsatsen och det svarta i mitten som har en krok är locket på fisteln som också är gjord av silikon. (Foto: Veronica Furenbäck, 2018).

3.2 Material och utförande

3.2.1 Manuell mätning av våm-pH

Fri våmvätska samlades manuellt genom våmfisteln från den ventrala våmsäcken, ungefär 30-40 cm under våmmattan med ett falconrör, 50 ml. Manuella provtagningar på våmvätska togs varannan timme mellan klockan 06:00 och 22:00 fördelat på två dygn och vid datainsamling fick korna vara i sin naturliga miljö. En portabel pH mätare (METTLER TOLEDO modell SevenGo SG2, Schwerzenbach Schweiz) (Duo, 2014) användes för att direkt mäta pH och temperatur på våmvätskan (Figur 8). Kalibrering i buffertlösning med pH 7 och 4 gjordes en gång om dagen innan mätning.



Figur 8: Portabel pH-mätare från METTLER TOLEDO modell SevenGo SG2 (Foto: Veronica Furenäck, 2018).

3.2.2 LRCpH

Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) (Dascor, Escondido Kalifornien USA) registrerade pH och temperatur i ventrala våmsäcken kontinuerligt varje minut under fyra dygn. För att LRCpH skulle hållas på plats i ventrala våmsäcken sattes en 900 g vikt fast i botten på LRCpH och på toppen av LRCpH fästes ett 40 cm långt nylon snöre som var fäst i våmfistelinsatsen. Innan LRCpH sattes in i våmmen och efter urtagning standardiserades LRCpH i buffert pH 7 och 4 ("Dascor LRCpH User`s Guide," 2007). Vid standardiseringen avlästes spänningen i millivolt och resultat skrevs ned i en excel fil som sedan räknade om det till ett pH-värde. Detta gjordes för att kunna räkna ut lutningen och y-interceptet, där regressionsdata användes för att se om pH drivit över tid och om elektroderna bör bytas. Avläsning av data gjordes en gång i veckan i samband med urtagning av LRCpH.

3.2.3 eBolus

Tekniken eBolus (Ecow, Clyst Honiton, Storbritanien) registrerade pH och temperatur i ventrala våmsäcken kontinuerligt varje minut, men utdata registrerades som ett medelvärde var 15:e minut. På toppen av eBolus sattes ett 40 cm långt nylon snöre

fast som också var fäst i locket på våmfistelinsatsen. I botten på eBolus fanns en inbyggd vikt vilket gjorde att den hölls på plats i ventrala våmsäcken. Efter två dygn flyttades eBolus till nätmagen för att registrera pH och temperatur. I period 1 var eBolus fäst i ett 1 m långt snöre som sattes fast i våmfistelinsatsen, men under period 2-3 släpptes eBolus fritt ned i nätmagen. Avläsning av data gjordes efter varje mättningsperiod i samband med uttagning av eBolus. En mobiltelefon (Motorola, Chicago, Illinois USA) som var kopplad till ett avläsningsset (Figur 9) hölls nära eBolus och genom internet (wifi) kopplades avläsaren och mobiltelefonen till en specifik eBolus för dataöverföring. Data sparades online i en webbportal (<https://hathor.ecow.co.uk>). Kalibrering av eBolus gjordes vid start av varje datainsamlingsperiod i buffert 7 och 4 (*eBolus and Handset Research User Manual*, 2018).



Figur 9: Motorolamobilen och eCow avläsaren som användes vid avläsning av eBolus (Foto: Veronica Furenbäck, 2018).

3.3 Statistisk analys

Microsoft Excel version år 2011 användes för hantering av rådata och grafisk bearbetning. Data från LRCpH loggers gjordes om till medelvärden var 15:e minut för att vara jämförbara med data från eBolus. Fördelningen av data och antal registreringar för både de lakterande korna och sinkorna illustrerades med histogram.

För att jämföra medelvärden för våm-pH och nätmagens pH samt de olika mätmetoderna användes SAS programpaket version 9,4 och kommando procedur mixed (SAS/SHARE® 9.4: User's Guide, Second Edition, 2018). Modellen för variansanalys anpassades för upprepade mätningar och som fixa faktorer ingick mätteknik, period, utfodringsnivå och ko inom utfodringsnivå utgjorde upprepat subjekt i modellen. Interaktioner mellan mätteknik, period och utfodringsnivå undersöktes men togs ur modellen i de fall det var icke signifikant ($p > 0,05$).

För att kunna jämföra alla möjliga par av medelvärden då antal observationer (n) var olika för de olika mätteknikerna användes justering enligt Tukey- Kramer (Engstrand & Olsson, 2003). Parvis t- test kunde ha utförts men ett Tukey- Kramer test ställer högre krav på signifikans än vad parvisa t-test gör vilket ger ett säkrare resultat (Engstrand & Olsson, 2003). I SAS användes också Pearsons enkla korrelationer ("SAS/SHARE® 9.4: User's Guide, Second Edition," 2018) för att få reda på korrelationen mellan mättekniker. Ett enkelt t- test utfördes för att se skillnader mellan de lakterande korna och sinkorna för totala tiden våm-pH var under 5,8 och antal gånger våm-pH var under 5,8.

Korrelationskoefficienten (r) visade om det fanns ett linjärt samband mellan mätmetoderna: om r var närmare 1 och -1 fanns det ett positivt starkt samband respektive negativt starkt samband och var r närmare 0 fanns inget samband (Engstrand & Olsson, 2003). P-värdet för korrelationskoefficienten visar hur stor sannolikheten är för att påståendet "ett svagt eller starkt linjärt samband mellan x och y", kan vara fel. Detta betyder att även om det var ett svagt samband kan en hög sannolikhet påvisas.

I korrelationsdiagrammen i resultatdelen (Figur 20-25) visas determinationskoefficienten (R^2) som anger hur stor del av den totala variationen i y som förklaras av regressionsmodellen (Engstrand & Olsson, 2003). Om korrelationskoefficienten (r) upphöjs i två blir det determinationskoefficienten (R^2). När värdet på R^2 ligger nära 0 innebär det ett svagt samband mellan x och y, och ligger R^2 närmare 1 betyder det ett starkt samband. En statistisk modell för ett linjärt samband kan förklaras så här:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i$$

Residualerna e_i antas vara normalfördelade, oberoende och medelvärde 0 samt samma varians σ_e^2 för alla x vilket innebär:

$$E(y/x) = \beta_0 + \beta_1 x$$

I diagrammen i resultatdelen visas den skattade ekvationen för linjen vilket ger kurvans skattade ekvation:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x$$

Där b_0 är interceptet vilket förklarar var linjen skär y-axeln. Lutningen på linjen förklaras av b_1 vilket anger förväntad ändring i y för varje enhetsändring i x .

4 RESULTAT

4.1 Foderanalys

Nedan visas foderanalysen för ensilaget och kraftfodret som de två lakterande korna fick under detta försök (Tabell 1). Analysvärden på sinkornas ensilage visas i Tabell 2.

Tabell 1: Näringsvärden på ensilaget och de två olika kraftfodren till de två lakterande korna.

	Lakterande korna							
	Ts-halt, %	MJ OE/kg ts	Råprotein g/kg ts	Aska g/kg ts	Stärkelse g/kg ts	NDF g/kg ts		
Ensilage	32,1	11,3	160,4	90,9	Ej analyserat	Ej analyserat		
Komplett Fiber 70	88	13,3	165	66	296	260		
Konkret Mega 28	89	14	286	89	50	250		

Tabell 2: Näringsvärden på ensilaget för de två sinkorna.

	Sinkorna			
	Ts-halt, %	MJ OE/kg ts	Råprotein g/kg ts	Aska g/kg ts
Ensilage	33,1	11,1	156,1	83,6

4.2 Foderintaget

För de två lakterande korna registrerades foderintag både för ensilage och kraftfoder. Utifrån det har ett medelvärde räknats ut för att få reda på medelintaget i kg ts per ättillfälle och kg ts per dygn (Tabell 3). Foderintagsregistrering kunde inte utföras för sinkorna och därför anges ett uppskattat värde på hur mycket en sinko äter per dag (Tabell 4).

Tabell 3: Intag av ensilage och kraftfoder, kg ts per ättillfälle och dygn per ko, för de två lakterande korna, medeltal per period.

Lakterande korna							
Ko	Mätperiod	Kg ts per dygn		Antal ättillfällen per dygn		Kg ts per ättillfällen	
		Ensilage	Kraftfoder	Ensilage	Kraftfoder	Ensilage	kraftfoder
437	1	11,3	15,3	36,5	10,2	0,31	1,5
437	2	10,7	15,6	28,0	14,2	0,39	1,1
437	3	12,4	14,6	28,0	14,5	0,44	1,0
451	1	13,0	14,3	27,5	10,0	0,48	1,4
451	2	12,7	14,5	26,0	11,0	0,49	1,3
451	3	13,0	14,0	22,0	11,5	0,60	1,2

Tabell 4: Uppskattat medelintag per dygn och ko, för de två sinkorna.

Sinkorna	
	Kg ts per dygn
Ensilage	9,93

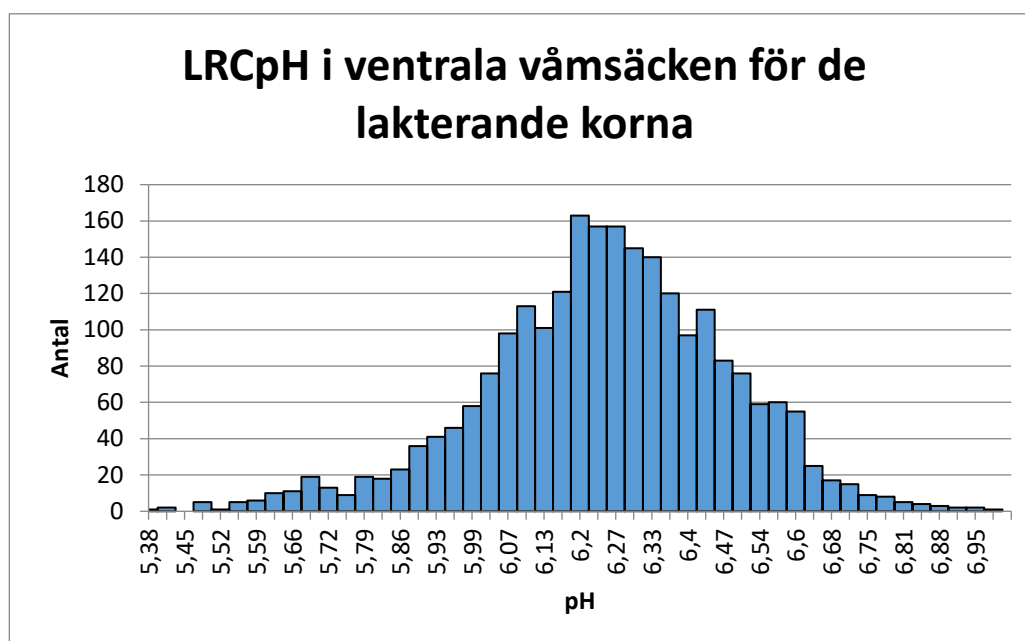
4.3 Våm-pH

Under alla mätperioder registrerades pH lika ofta för de lakterande korna och sinkorna.

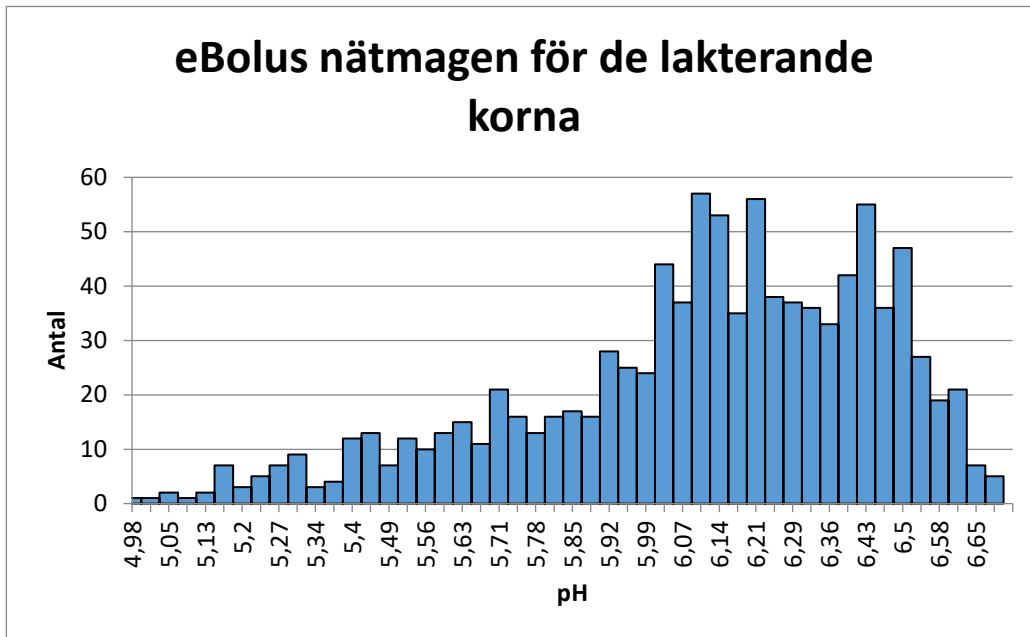
Histogrammen visar vilket pH som registrerats flest gånger och hur våm-pH och nätmagens pH fördelar sig (Figur 10-13).

4.3.1 De lakterande korna

Figur 10 visar en normalfördelning i våm-pH för de lakterande korna mätt med LRCpH i ventrala våmsäcken, de flesta registreringar ligger nära medelvärdet. Figur 11 visar fördelningen i nätmagens pH för de lakterande korna mätt med eBolus, där fördelningen är förskjuten åt höger vilket innebär att ett högre pH (>6) registrerats fler gånger än ett lägre pH, vilket kan förväntas i nätmagen.



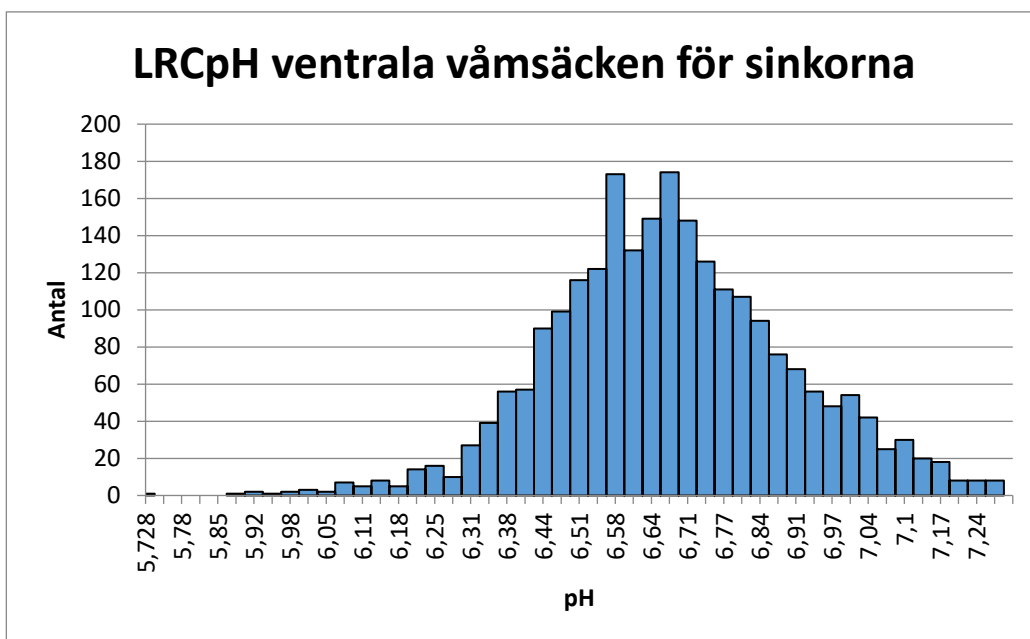
Figur 10: pH i våmmen hos de två lakterande korna under alla tre mätperioder om fyra dygn vardera. Korna utfodrades *ad libitum* ensilage med 1 % inblandning av halm samt totalt 14-15 kg kraftfoder per dygn. Totalt 4536 registreringar mätt med Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) i ventrala våmsäcken.



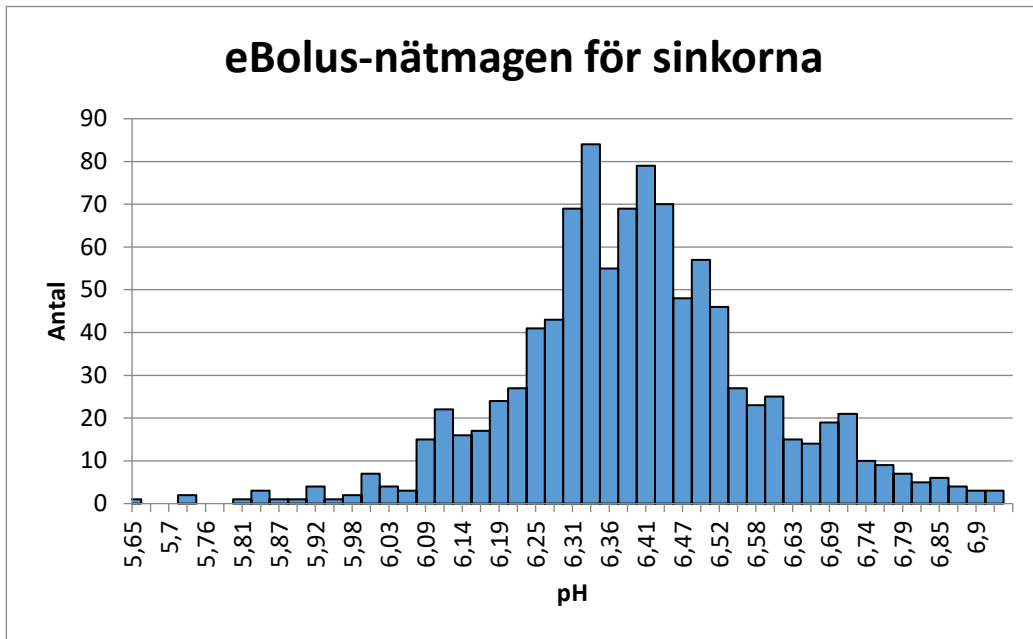
Figur 11: pH i nätmagen hos de två lakterande korna under alla mätperioder om fyra dygn vardera. Korna utfodrades *ad libitum* ensilage med 1 % inblandning av halm samt totalt 14-15 kg kraftfoder per dygn. Totalt 1952 registreringar mätt med eCow FarmBolus (eBolus) i nätmagen.

4.3.2 Sinkorna

Figur 12 och 13 visar en normalfördelning i våm-pH och nätmagens pH. De flesta registreringar ligger nära medelvärdet.



Figur 12: pH i våmmen hos sinkorna under alla mätperioder om fyra dygn vardera. Korna utfodrades *ad libitum* i period 1 med 25 % halm och 75 % ensilage och mineraler på ts-basis och i period 2-3 *ad libitum* 80 % helsädesensilage av korn, 20 % ensilage och mineraler på ts-basis. Totalt 4536 registreringar mätt med Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) i ventrala våmsäcken.



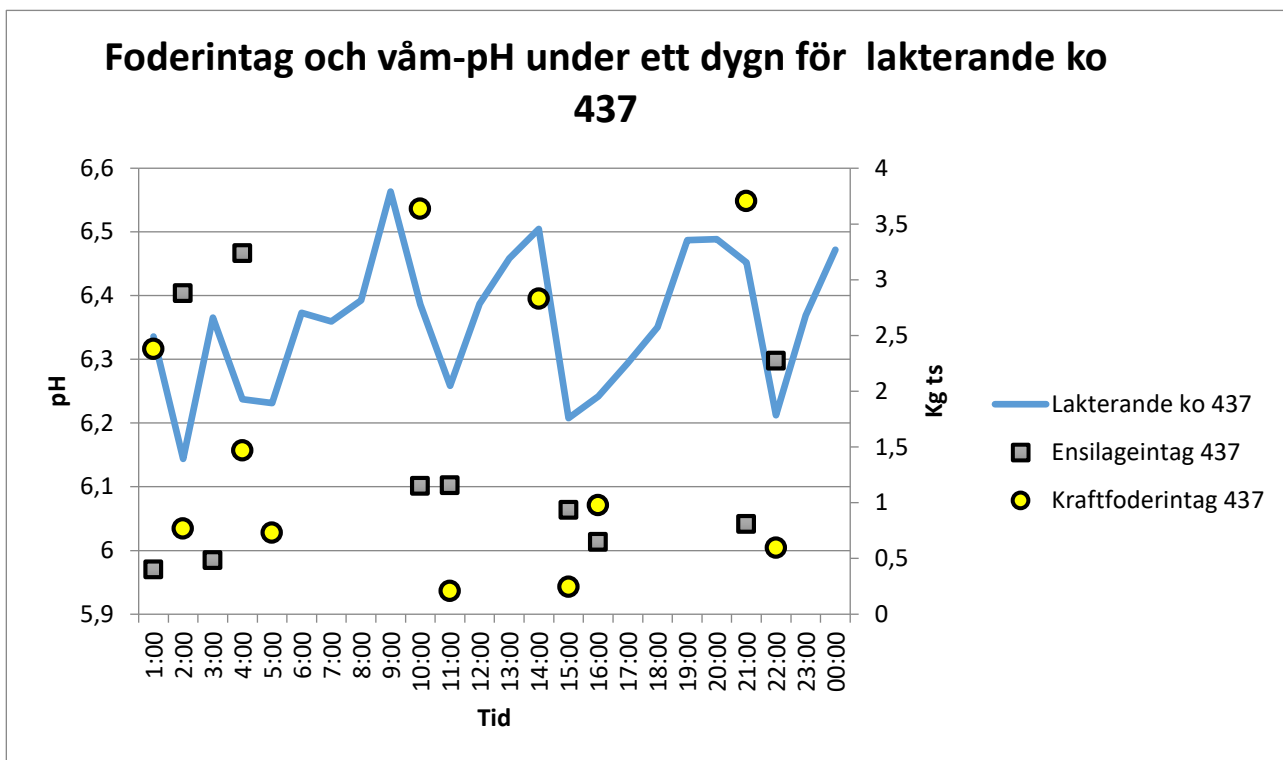
Figur 13: pH i nätmagen hos sinkorna under alla mätperioder om fyra dygn vardera. Korna utfodrades *ad libitum* i period 1 med 25 % halm och 75 % ensilage och mineraler på ts-basis och i period 2-3 *ad libitum* 80 % helsädesensilage av korn, 20 % ensilage och mineraler på ts-basis. Totalt 1952 registreringar mätt med eCow FarmBolus (eBolus) i nätmagen.

4.4 Dygnsmedelvärde för våm-pH och utfodring

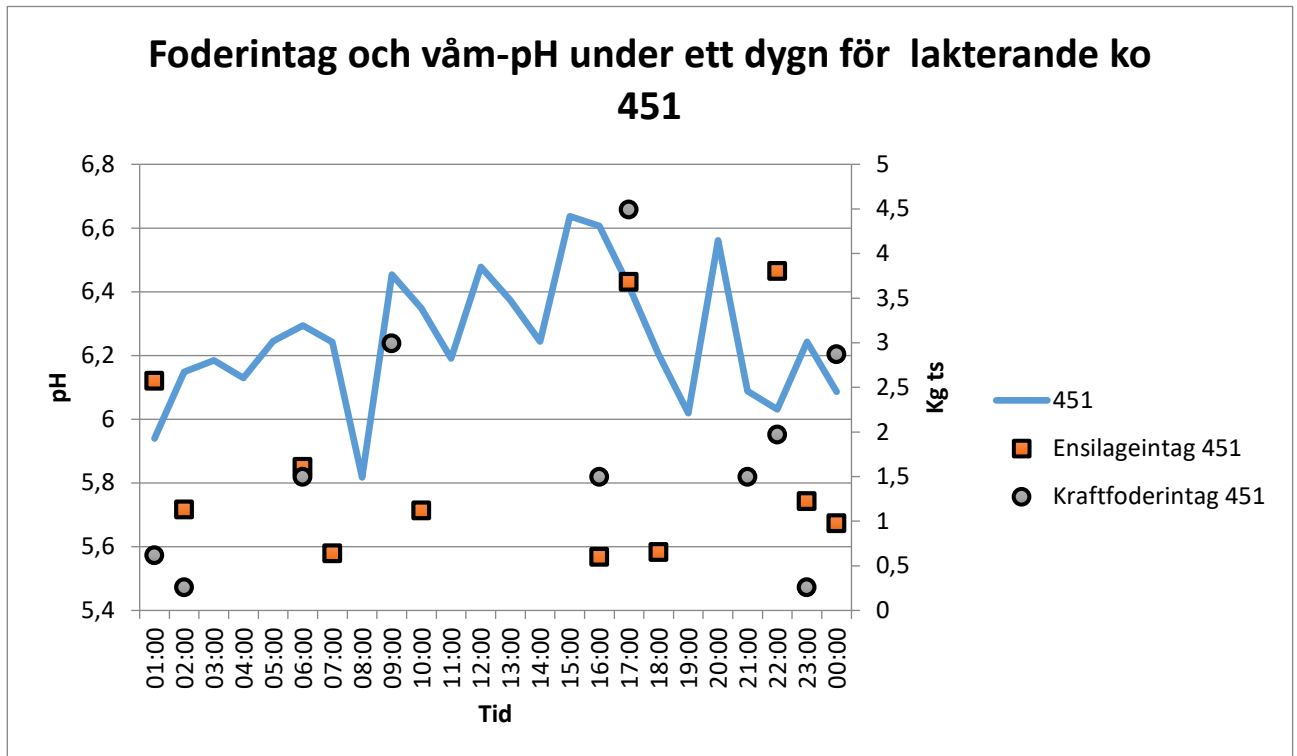
Våm-pH var inte konstant under dygnet varken hos de lakterande korna eller hos sinkorna (Figur 14-19). Våm-pH sjönk efter kraftfoder- och ensilageintag för de lakterande korna (Figur 14 och 15). Sinkornas våm-pH sjönk efter foderintag (Figur 17).

De lakterande korna hade 16 tillfällen där våm-pH var under 5,8 och totala tiden pH var under 5,8 var i medeltal 7,8 minuter för totalt alla mätperioder. Sinkorna hade fem tillfällen där våm-pH var under 5,8 och tiden pH var under 5,8 var i medeltal 1,85 minuter för totalt alla mätperioder. Det var ingen signifikant skillnad mellan de lakterande korna och sinkorna för antal tillfällen och tiden våm-pH var under 5,8 ($p > 0,05$).

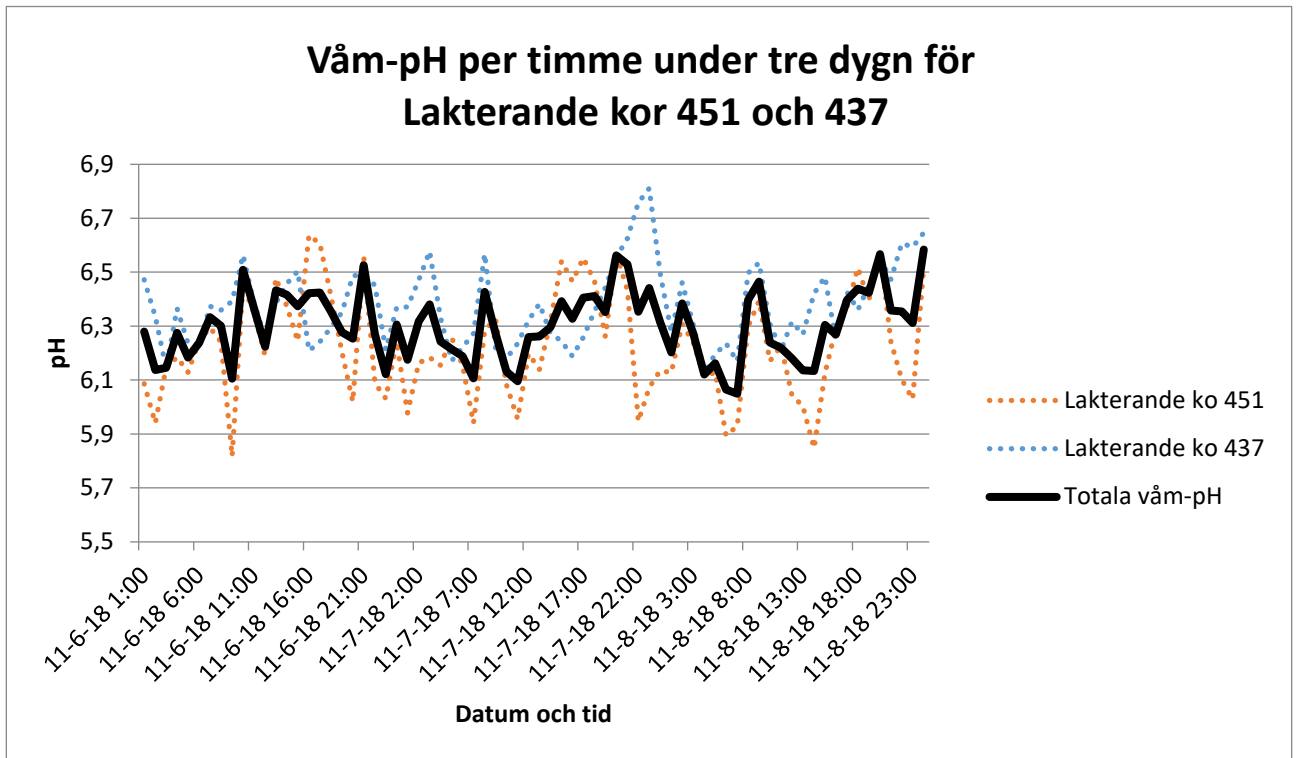
4.4.1 De lakterande korna



Figur 14: Ensilageintag (grå kvadrat) och kraftfoderintag (gul cirkel) och den heldragna linjen visar medelvärde varje timme för pH i våmmen. Tid för vattenintag för 437 kl: 1,2, 4, 6, 10, 11, 15, 16 och 21. Kon utfodrades *ad libitum* ensilage med 1 % inblandning av halm samt totalt 14-15 kg kraftfoder per dygn. Mätning av våm-pH gjordes kontinuerligt med Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH).

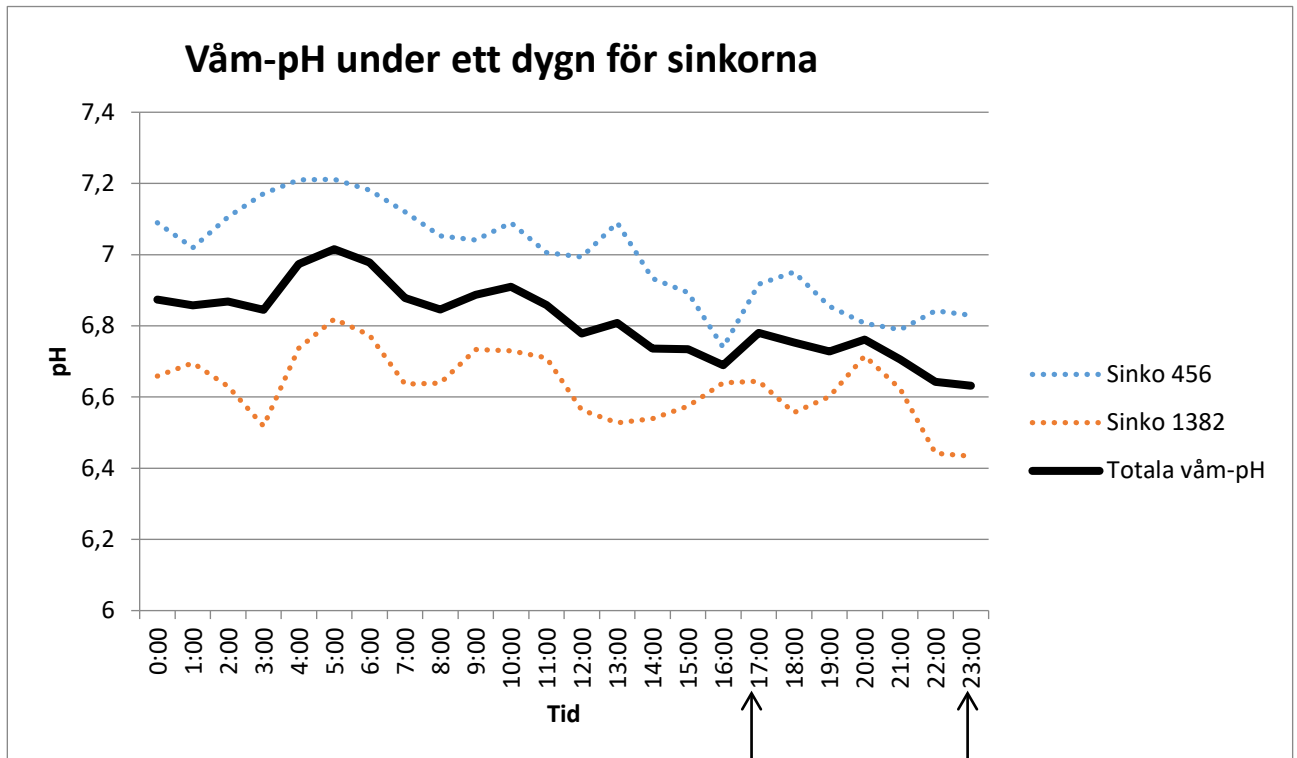


Figur 15: Ensilageintag (orange kvadrat) och kraftfoderintag (grå cirkel) och den heldragna linjen visar medelvärde varje timme för pH i våmmen. Tid för vattenintag för 451 kl: 1,2 4, 9, 10,17,18, 22 och 24. Kon utfodrades *ad libitum* ensilage med 1 % inblandning av halm samt totalt 14-15 kg kraftfoder per dygn. Mätning av våm-pH gjordes kontinuerligt med Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH).

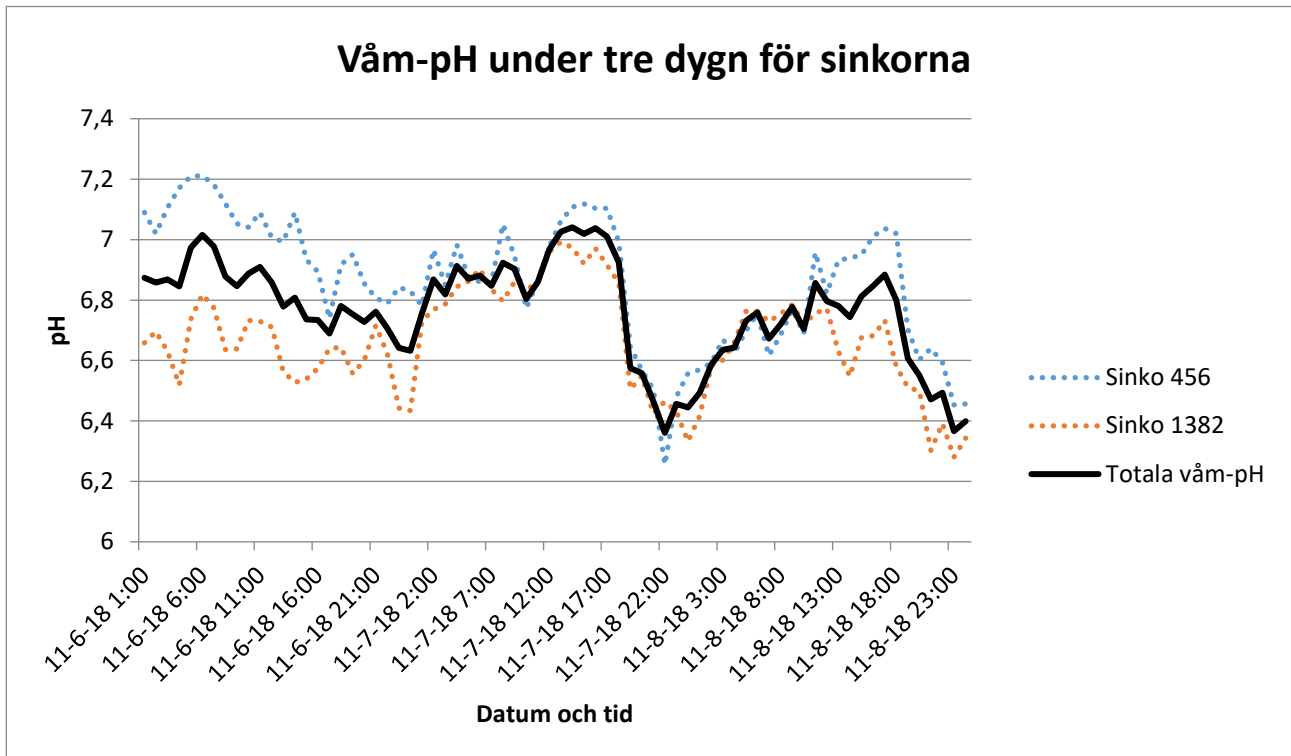


Figur 16: Medelvärde för våmmens pH varje timme under tre dygn för de lakterande korna 437 och 451. Mätning av våm-pH i ventrala våmsäcken gjordes kontinuerligt med Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH). De lakterande korna utfodrades *ad libitum* ensilage med 1 % inblandning av halm samt totalt 14-15 kg kraftfoder per dygn. De två streckade linjerna är de individuella medelvärdena för våmmens pH och den heldragna linjen är totala medelvärdet för våm-pH för de båda lakterande korna.

4.4.2 Sinkorna

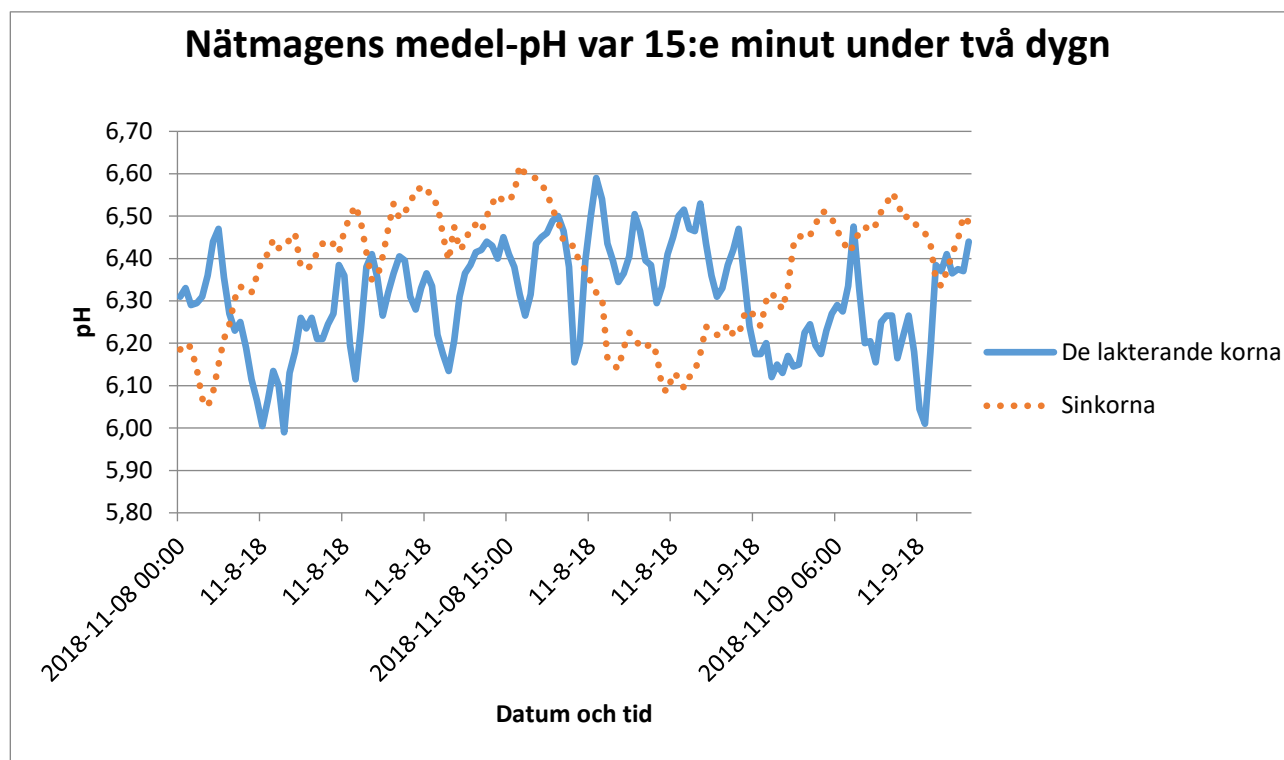


Figur 17: Medelvärde för våmmens pH varje timme under ett dygn för sinkorna 456 och 1382. Mätning av våm-pH i ventrala våmsäcken gjordes kontinuerligt med Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH). Sinkorna utfodrades *ad libitum* 80 % helsädesensilage av korn, 20 % ensilage och mineraler på ts-basis och utfodrades kl 17 och 23 markerat med pilar i diagrammet. De två streckade linjerna är de individuella medelvärdena för våmmens pH och den heldragna linjen är det totala medelvärdet för båda sinkornas våm-pH.



Figur 18: Medelvärde för våmmens pH varje timme under tre dygn för sinkorna 456 och 1382. Mätning av våm-pH i ventrala våmsäcken gjordes kontinuerligt med Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH). Sinkorna utfodrades *ad libitum* 80 % helsädesensilage av korn, 20 % ensilage och mineraler på ts-basis. De två streckade linjerna är de individuella medelvärdena för våmmens pH och den heldragna linjen är det totala medelvärdet för båda sinkornas våm-pH.

4.4.3 Nätmagens pH för de lakterande korna och sinkorna



Figur 19: Medelvärde var 15:e minut för pH i nätmagen för de lakterande korna och sinkorna mätt med ett permanent kvarliggande pH mätningssystem eCow FarmBolus (eBolus). De lakterande korna utfodrades *ad libitum* ensilage med 1 % inblandning av halm samt totalt 14-15 kg kraftfoder per dygn. Sinkorna utfodrades *ad libitum* 80 % helsädesensilage av korn, 20 % ensilage och mineraler på ts-basis. Den streckade linjen är det totala medelvärdet för våm-pH för de två sinkorna. Den heldragna linjen är totala medelvärdet för våm-pH för de två lakterande korna.

4.5 Jämförelse av medel-pH

De lakterande korna hade lägre våm-pH än sinkorna ($p < 0,001$). Det var inte någon skillnad i nätmagens pH mellan de lakterande korna och sinkorna ($p > 0,05$).

Det var en signifikant skillnad mellan mättekniker både för de lakterande korna och sinkorna (Tabell 5 & 6).

Tabell 5: Minsta kvadratmedelvärde för våm-pH och nätmagens pH för de lakterande korna under de olika perioderna och totalt för alla perioder med de olika mätteknikerna. SEM: Standard error of the mean.

LAKTERANDE KORNA					
Period	LRCpH	eBolus V	eBolus N	Manuell	Signifikansnivå, p
1	6,18	5,90	5,75	5,59	0,0001
2	6,29	5,78	6,33	5,68	0,0001
3	6,24	6,00	6,22	5,66	0,0001
Alla perioder	6,24	5,90	6,10	5,64	0,0001
SEM	0,037	0,037	0,037	0,045	

Tabell 6: Minsta kvadratmedelvärde för våm-pH och nätmagens pH för de två sinkorna under de tre olika perioderna och totalt för alla perioder med de olika mätteknikerna. SEM: Standard error of the mean.

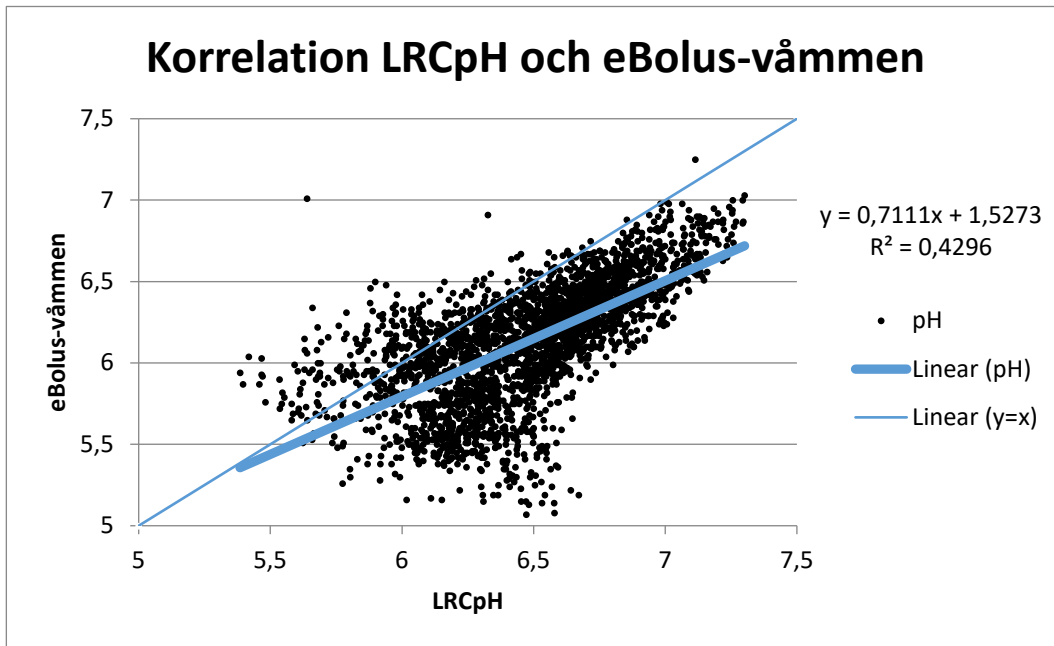
SINKORNA					
Period	LRCpH	eBolus V	eBolus N	Manuell	Signifikansnivå, p
1	6,65	6,41	6,40	6,24	0,0001
2	6,76	6,45	6,37	6,48	0,0001
3	6,57	6,15	6,40	6,16	0,0001
Alla Perioder	6,66	6,34	6,39	6,29	0,0001
SEM	0,037	0,037	0,037	0,045	

4.6 Korrelation mellan mätmetoder

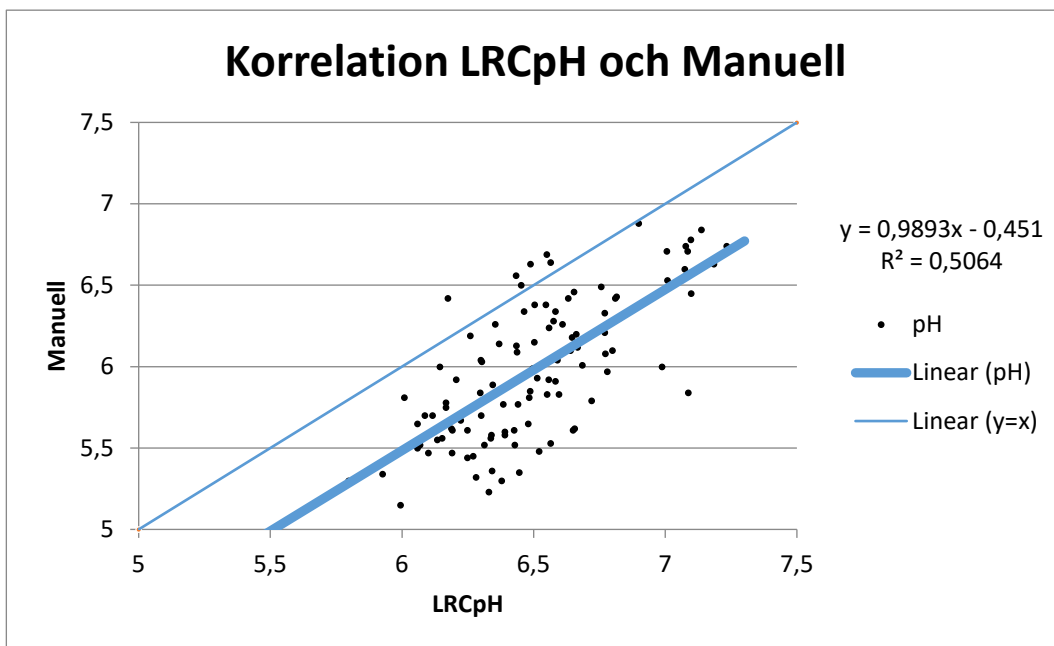
Korrelationer mellan mätmetoderna: LRCpH, eBolus-våmmen, eBolus-nätmagen och manuell provtagning visade att alla sambanden hade en stark signifikans ($p < 0,0001$) (Tabell 7). Diagram för korrelationerna visas i figur 20-25.

Tabell 7: Korrelationskoefficient (r) mellan olika metoder för pH-mätning och p -värde för korrelationen. eBolus V= Våmmen, eBolus N= Nätmagen

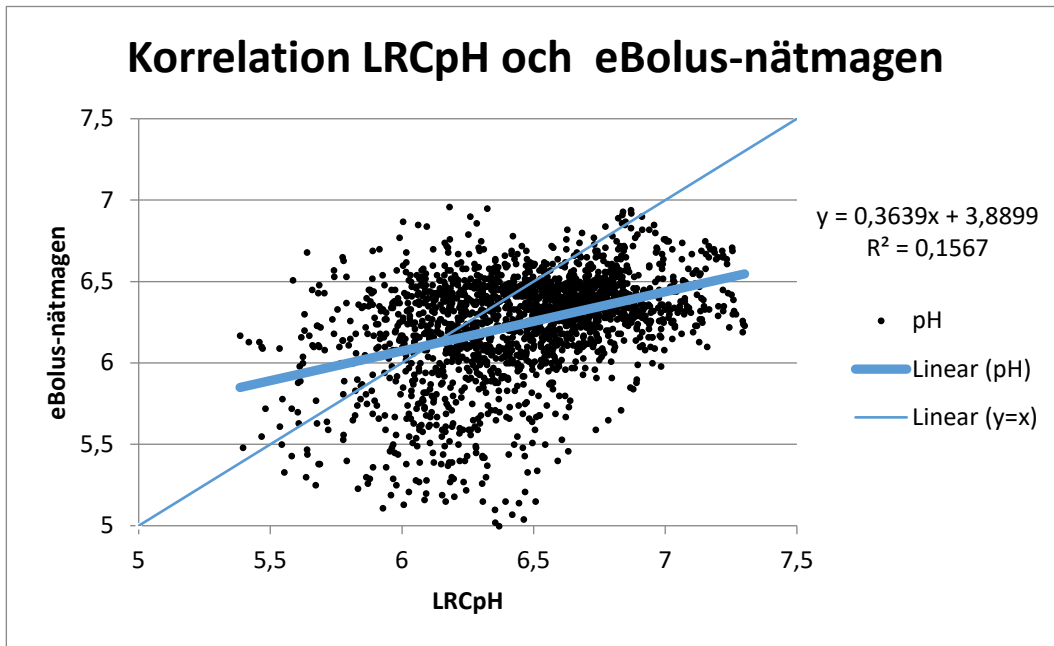
Variabler	LRCpH	eBolus V	Manuell	eBolus N
LRCpH	-	0,66 ($p < 0,0001$)	0,71 ($p < 0,0001$)	0,40 ($p < 0,0001$)
eBolus V	-	-	0,70 ($p < 0,0001$)	0,042 ($p < 0,0001$)
Manuell	-	-	-	0,42 ($p < 0,0001$)
eBolus N	-	-	-	-



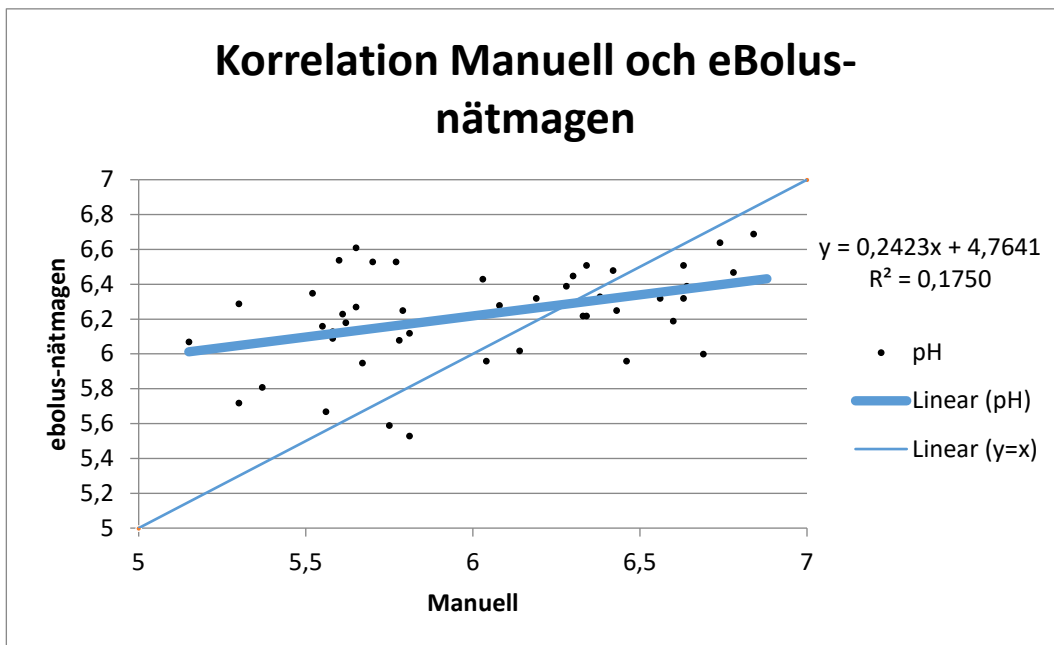
Figur 20: Sambandet mellan mätteknik Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) som mätte pH kontinuerligt varje minut i ventrala våmsäcken och ett permanent kvarliggande pH mätningssystem eCow FarmBolus (eBolus) som mätte pH i ventrala våmsäcken varje minut men utdata visades som ett medelvärde var 15:e minut. Data från LRCpH gjordes om till medelvärde var 15:e minut för att kunna vara jämförbart med eBolus. Det var totalt tre mätperioder och en mätperiod varade i fyra dygn. Den diagonala linjen visar $y = x$.



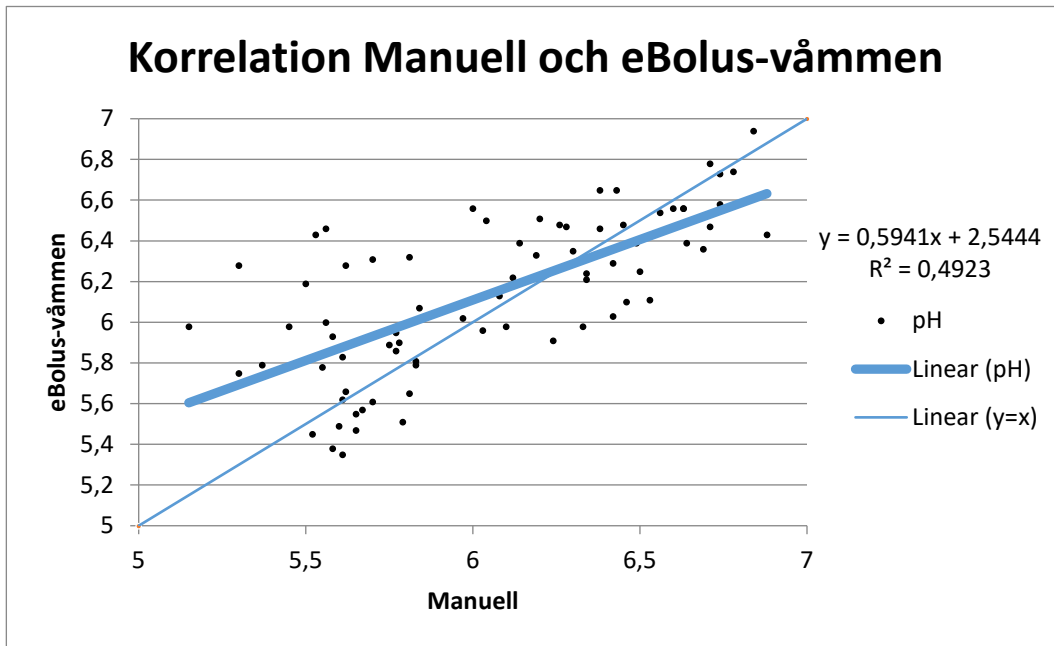
Figur 21: Sambandet mellan mätteknik Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) som mätte pH kontinuerligt varje minut i ventrala våmsäcken och manuell provtagning av våmvätska som togs via våmfisteln i den ventrala våmsäcken varannan timme mellan 06:00 och 22:00 fördelat under två dygn. Det var totalt tre mätperioder och en mätperiod varade under fyra dygn. Data omvandlades till medelvärde var 15:e minut för att kunna vara jämförbart. Den diagonala linjen visar $y = x$.



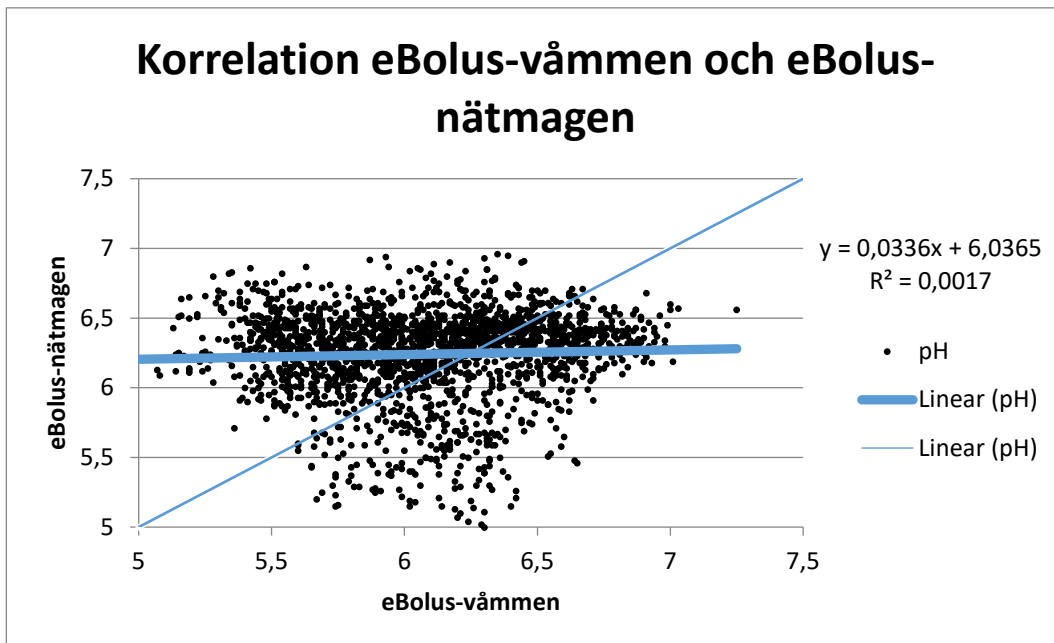
Figur 22: Sambandet mellan mätteknik Lethbridge Research Center pH measurement system (LRCpH) som mätte pH kontinuerligt varje minut i ventrala våmsäcken och ett permanent kvarliggande pH mätningssystem eCow FarmBolus (eBolos) som mätte pH kontinuerligt varje minut i nätmagen under två dygn, men utdata visades som ett medelvärde var 15:e minut. Data från LRCpH gjordes om till medelvärde 15:e minut för att kunna vara jämförbart med eBolos. Det var totalt tre mätperioder och en mätperiod varade i fyra dygn. Den diagonala linjen visar $y = x$.



Figur 23: Sambandet mellan manuell provtagning av våmvätska som togs via våmfisteln i den ventrala våmsäcken varannan timme mellan 06:00 och 22:00 fördelat under två dygn och ett permanent kvarliggande pH mätningssystem eCow FarmBolus (eBolos) som mätte pH kontinuerligt varje minut i nätmagen under två dygn, men utdata visades som ett medelvärde var 15:e minut. Data från manuell provtagning gjordes om till medelvärde var 15:e minut för att kunna vara jämförbart med eBolos. Det var totalt tre mätperioder och en mätperiod varade i fyra dygn. Den diagonala linjen visar $y = x$.



Figur 24: Sambandet mellan manuell provtagning av våmvätska som togs via våmfisteln i den ventrala våmsäcken varannan timme mellan 06:00 och 22:00 fördelat under två dygn och ett permanent kvarliggande pH mätningssystem eCow FarmBolus (eBolus) som mätte pH kontinuerligt varje minut i ventrala våmsäcken men utdata visades som ett medelvärde var 15:e minut. Data från manuell provtagning gjordes om till medelvärde var 15:e minut för att kunna vara jämförbart med eBolus. Det var totalt tre mätperioder och en mätperiod varade i fyra dygn. Den diagonala linjen visar $y = x$.



Figur 25: Sambandet mellan permanent kvarliggande pH mätningssystem eCow FarmBolus (eBolus) som först registrerade våm-pH och efter två dygn flyttades eBolus till nätmagen för att registrera pH i två dygn. Registrering av pH gjordes varje minut men utdata var medelvärde var 15:e minut. Det var totalt tre mätperioder och en mätperiod varade i fyra dygn. Den diagonala linjen visar $y = x$.

5 DISKUSSION

5.1 Våmmiljön och våminnehållets påverkan på dataresultat

Penner et al. (2006) observerade i sin studie att precisionen och noggrannheten för LRCpH minskade numeriskt för mätning av våm-pH när korna hade torrt våminnehåll jämfört med kor som hade mer flytande våminnehåll. Elektroden i LRCpH som mäter pH är utformad för att sänkas ned i vätska och kräver att vätska rör sig över elektroden för att få tillförlitliga pH-mätningar (Penner et al., 2006). Elektroden i eBolos som mäter pH kräver också att vätska rör sig och täcker pH-elektroden (Mottram et al., 2008).

I denna studie utfördes inte någon ts-bestämning på våminnehållet, vilket kunde ha genomförts för att kunna avgöra om ts-halten påverkade resultaten från LRCpH och eBolos-våmmen. Eftersom manuell provtagning utfördes via våmfisteln skapades en visuell bild och känsla av våminnehållet. Generellt hos de fyra korna som ingick i detta försök var våminnehållet väldigt kompakt med en liten andel fri vätska. Detta kan ha påverkat data från LRCpH och eBolos-våmmen genom att pH-elektroden i dessa tekniker kan ha fått för lite vätska omkring sig. Våmmiljön och våminnehåll påverkar noggrannheten i pH-registreringarna (Penner et al., 2006) vilket gör det mycket svårare att få tillförlitlig data. Generellt speglade inte illustrationen av Sjaastad et al. (2016) Figur 2 det verkliga våminnehållet hos korna.

Bildandet och upprätthållandet av foderskikten i våmmen beror på mängden och kvalitén på de strukturella kolhydrater som finns i sin foderstat samt nedbrytningshastigheten av strukturella kolhydrater i våmfibermattan (Tafaj et al., 2004). De lakterande korna fick ensilage från samma silo och likadant kraftfoder men kraftfoderintaget varierade. En skillnad i våminnehållets konsistens kunde, under vissa dagar, kännas mellan de två lakterande korna. Detta kan dock ha att göra med att korna hade druckit vatten precis när den manuella provtagningen skulle ske vilket kunde ha spätt ut våminnehållet med en lösare konsistens som följd. Sinkorna hade fastare våminnehåll i jämförelse med de lakterande korna vilket kan betyda att de fick en foderstat med högre andel fiber än vad de lakterande korna fick samt att sinkorna inte fick något kraftfoder.

5.2 Våm-pH och nätmagens pH

Resultatet i denna studie visade att pH var signifikant högre i nätmagen än i våmmen vilket styrks av tidigare studier (Falk et al., 2016; Neubauer et al., 2018). Nätmagens pH kan vara högre på grund av utspädning med nytt och mindre fermenterat foder och buffring från saliv (Falk et al., 2016). Det kan också ha att göra med att den intensiva VFA-produktionen sker i våmmen vilket sänker pH i våmmen (Tafaj et al., 2004).

I studien av Falk et al (2016) visas det att nätmagens pH var mer stabilt vilket kan ha att göra med att nätmagen har en mindre volym och att det är ett mer homogent innehåll jämfört med våmmen, och detta gör att eBolus håller sig på en plats i nätmagen, vilket minskar variationen av pH-mätningar. Detta kan jämföras med LRCpH, som förflyttar sig i våmmen och mäter pH på flera olika ställen i våmmen vilket resulterar i varierande pH-mätningar (Duffield et al., 2004). Enligt resultatet i denna studie skiljde sig inte nätmagens pH mellan de lakterande korna och sinkorna.

I histogrammet som visade nätmagens pH för de lakterande korna var fördelningen förskjuten åt höger vilket betyder att fler registreringar av ett högre pH (>6) har gjorts än lägre pH registreringar men att lägre pH registreringar har förekommit. Detta kan ha påverkats av att nätmagen har tillströmning av saliv som verkar buffrande samt tillförsel av våmvätska som har ett lägre pH. Däremot visade histogrammet för sinkornas pH-fördelning i nätmagen att det var en normalfördelning som inte var mer förskjuten åt höger än histogrammet som visade våmmens pH-fördelning. Detta kan betyda att våmvätskan som strömmar in till nätmagen redan har ett högt pH eftersom att våm-pH var högre hos sinkorna än hos de lakterande korna vilket kan bero på foderstaten som ges till de olika djurkategorierna.

5.2.1 Antal ättillfällen

Vid beräkningarna av kg ts foder per ättillfälle och dygn räknades alla de gånger kon registrerades vid foderbordet och åt ensilage. Eftersom att de två lakterande korna gick i lösdrift i en stor grupp kan antalet gånger korna går till foderbordet för att äta ensilage påverkas på grund av rangordning i flocken samt hur länge de får stå där och äta innan någon annan ko knuffar bort dem. Detta kan då påverka ts-intaget och därmed pH i våmmen. Ingen registrering av foderintag gjorde för sinkorna men det som talar för att sinkorna fick äta när de ville och hur länge de vill var att de stod i en liten grupp om ca 4-6 st kor. Detta gjorde att det fanns flera ätplatser tillgängliga för varje ko.

5.3 Dygnsmedelvärde för våm-pH och utfodring

Resultatet styrker att våm-pH inte var konstant under dygnet samt att efter foderintag sjönk våm-pH för de lakterande korna som visats i tidigare studier (Allen, 1997; Krause and Combs, 2003; Yang and Beauchemin, 2007; Zebeli et al., 2008). Sinkornas våm-pH visade en tendens till att sjunka vid foderintag och det kan bero på att sinkorna fick helsädesensilage av korn. Våm-pH sjunker i snabbare takt efter en måltid om måltidens storlek ökar och NDF-koncentrationen minskar (Allen, 1997). Att pH sjunker efter foderintag kan betyda att mikroberna får mer tillgång till substrat och en ökad fermentering vilket gör att VFA-produktionen ökar och sänker pH i våmmen.

Alla tre mätperioder och de olika mätteknikerna visade signifikant lägre våm-pH hos de lakterande korna jämfört med sinkorna. Att de lakterande korna hade lägre våm-pH än sinkorna beror troligen på att foderstaten till de lakterande korna innehöll kraftfoder samt att de hade ett högre foderintag. Kraftfoder har enligt tidigare studier konstaterats sänka våm-pH (Mertens, 1997; Nocek, 1997; Martin et al., 1999; Krause & Combs, 2003).

I tidigare studier visas det att pH är lägre i den dorsala och mediala delen av våmmen (Tafaj et al., 2004; Schulze et al., 2017; Neubauer et al., 2018). I denna studie mättes våm-pH i ventrala våmsäcken vilket inte visar våmmens lägsta pH. Det hade varit intressant att mäta pH i dorsala säcken och i vätska från våmmattan för att se en skillnad i pH för olika områden i våmmen, men det fanns inte utrymme för det i denna studie.

Att det inte var någon signifikant skillnad mellan de lakterande korna och sinkorna för våm-pH under 5,8 var antagligen för att det var så få tillfällen som pH var under 5,8 och att mätperioderna var få. Hade mätperioderna varit fler och registrering av pH skett flera dagar i sträck och om foderstaterna var mer extrema, kanske det hade upptäckts en signifikant skillnad.

5.4 Korrelationer och jämförelse av mättekniker

Sambandet var starkt mellan LRCpH och manuell provtagning. Detta kan ha påverkats av att manuell provtagning togs nära LRCpH i våmmen. Det starka sambandet mellan LRCpH och eBolos-våmmen kan betyda att de låg nära varandra i våmmen och avläste pH på ungefär samma ställe i ventrala våmsäcken. Vid några tillfällen släppte eBolos och LRCpH från infästningen och hamnade i nätmagen. Detta kan ha orsakat en viss osäkerhet i resultaten.

I denna studie användes Pearsons korrelationskoefficient (r) och den indikerar hur nära resultaten är relaterade mellan två olika metoder men indikerar inte hur plottad data skiljer sig från $y=x$ linjen (Penner et al., 2006). För att uppskatta precisionen för de olika mätmetoderna i denna studie skulle en korrelationskoefficient som är korrigerad för upprepade mätningar kunna ha använts (Hamlett et al., 2004). För att uppskatta noggrannheten hos de olika mätteknikerna skulle Lin's Concordance korrelationskoefficient (ρ_c) kunna ha använts för att den bestämmer avvikelse av den bäst passande linjära linjen från $y=x$ linjen vilket ger ett root mean square prediction error (RMSPE).

5.5 Våmacidos

I dag finns eBolos tekniken som lantbrukare själva kan använda för att mäta nätmagens pH. Nätmagen har dock ett högre pH än i våmmen (Falk et al., 2016; Neubauer et al., 2018) och tröskelvärden för SARA är baserade på våm-pH (Duffield et al., 2004). Därför gör pH-skillnaden i nätmagen och våmmen det svårt att upptäcka SARA baserat på pH-mätningar i nätmagen. Det tröskelvärde för SARA som rekommenderas för nätmagen är ett pH 6 (Neubauer et al., 2018).

I Sverige vet vi inte utbredningen av våmacidos hos mjölkkor eftersom ingen registrering av sjukdomen görs. I USA är det en större utbredning av våmacidos på grund

av intensiv uppfödning och generellt en låg grovfoderandel i foderstaterna (Garett et al., 1997; Mertens, 2000). Våmacidos påverkar produktionen negativt och därmed ekonomin för lantbrukaren (Stone, 1999) vilket gör att mer forskning på SARA bedrivs i USA.

5.6 Framtida forskning

Volden (2011) skriver att i framtiden kommer rekommendationer av CI att valideras utifrån data där våm-pH och fettprocent i mjölk har mätts för att upprätthålla en optimal våmmiljö. För att kunna basera CI på våm-pH måste teknikerna som ska mäta våm-pH vara validerade och mäta så noggrant som möjligt. För det krävs mer studier för jämförelse av moderna mättekniker så som LRCpH och eBolus. Enligt Mottram et al (2008) började pH-mätningar från eBolus att variera efter 35 dygn och enligt eCow kan mätningar göras under fem månader. Det blir en utmaning för framtida forskning hur elektroden i mätutrustningen inte ska bli kontaminerad och ge missvisande data. Det krävs mer forskning om skillnad i pH mellan olika områden i våmmen och hur våmkontraktioner påverkar pH i de olika områdena i våmmen.

Det behövs också mer forskning för att forma tröskelvärden för SARA i nätmagen och om det går att avläsa pH i nätmagen för att diagnostisera våmacidos. Det borde forskas mer på sambandet mellan våm-pH och nätmagens pH och om nätmagens pH påverkas av en ökad andel icke strukturella kolhydrater i foderstaten för mjölkkor. Sorteringsbeteende är en viktig del i detta och det krävs mer forskning på sorteringsbeteende beroende på pH i våmmen och vad som händer med pH i våmmen om korna sorterar fodret.

6 SLUTSATS

Ökad partikellängd och grovfoderandel i foderstaten för mjölkkor påverkar våm-pH och våmmiljön positivt vilket kan minska antalet fall av våmacidos. Det är många faktorer som påverkar våm-pH vilket gör det svårt att tolka data från pH-mätningar. I den här studien hade nätmagen ett högre pH än våmmen och det var ingen skillnad i nätmagens pH mellan lakterande kor och sinkor. De lakterande korna hade lägre våm-pH än sinkorna. Det var ingen signifikant skillnad mellan de lakterande korna och sinkorna för antal tillfällen- och tiden våm-pH var under 5,8. Våm-pH är inte konstant under dygnet och det visas en trend i att våm-pH sjunker efter kraftfoder- och ensilageintag. Tekniken LRCpH och manuell provtagning, eBolus-våmmen och manuell provtagning samt LRCpH och eBolus-våmmen hade starka samband.

Referenslista

- Allen, M.S. (1997). Relationship Between Fermentation Acid Production in the Rumen and the Requirement for Physically Effective Fiber. *J. Dairy Sci.* 80, 1447–1462.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76074-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76074-0).
- Aschenbach, J.R., Bilk, S., Tadesse, G., Stumpff, F., Gäbel, G. (2009). Bicarbonate-dependent and bicarbonate-independent mechanisms contribute to nondiffusive uptake of acetate in the ruminal epithelium of sheep. *Am. J. Physiol.-Gastrointest. Liver Physiol.* 296, G1098–G1107.
<https://doi.org/10.1152/ajpgi.90442.2008>.
- Albright, J. L. (1993). Nutrition, feeding, and calves. Feeding behavior of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, vol. 76, ss. 485-498.
- Arvidson, A. (2003). Kompendium - De vanligaste utfodringsbetingande sjukdomarna. *Svensk Mjölk*.
- Bailey, C.B., Balch, C.C. (1961). Saliva secretion and its relation to feeding in cattle. *Br. J. Nutr.* 15, 383.
<https://doi.org/10.1079/BJN19610048>.
- Börjesson, G., Schnürer, A., Bertilsson, J. (2019). Metanemissioner från kor i Sverige – beräkningar och möjliga åtgärder 10.
- Cassida, K.A., Stokes, M.R. (1986). Eating and Resting Salivation in Early Lactation Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 69, 1282–1292. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(86\)80534-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(86)80534-3).
- Clauss, M., Lechner, I., Barboza, P., Collins, W., Tervoort, T.A., Südekum, K.-H., Codron, D., Hummel, J. (2011). The effect of size and density on the mean retention time of particles in the reticulorumen of cattle (*Bos primigenius f. taurus*), muskoxen (*Ovibos moschatus*) and moose (*Alces alces*). *Br. J. Nutr.* 105, 634–644. <https://doi.org/10.1017/S0007114510004101>.
- Cook, N. B., K. V. Nordlund, and G. R. Oetzel. 2004. Environmental influences on claw horn lesions associated with laminitis and subacute ruminal acidosis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:E36– E46.
- Coppock, C. E. (1977). Feeding methods and grouping systems. *Journal of Dairy Science*, vol. 60, ss. 1327-1336.
- Danielsson, R. (2016). *Methane Production in Dairy Cows*. Diss, Uppsala: Sverige lantbruksuniversitet.
- Dascor. (2007). *LRCpH User`s Guide, 2007*. [Broschyr]. Escondido CA USA: Dascor Inc. Tillgänglig: <https://dascor.com/pages/datalogframe.html> [2018-10-22]
- Dijkstra, J., Ellis, J.L., Kebreab, E., Strathe, A.B., López, S., France, J., Bannink, A. (2012). Ruminant pH regulation and nutritional consequences of low pH. *Anim. Feed Sci. Technol.* 172, 22–33.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.005>.
- Duffield, T., Plaizier, J.C., Fairfield, A., Bagg, R., Vessie, G., Dick, P., Wilson, J., Aramini, J., McBride, B. (2004). Comparison of Techniques for Measurement of Rumen pH in Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 87, 59–66. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73142-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73142-2).
- Duo, Seven. (2014). SevenGo Duo™ . Tillgänglig: https://www.mt.com/se/sv/home/products/Laboratory_Analytics_Browse/pH-meter/portable-pH-meter/sevengo-duo/SG23-Meter.html [2018-12-17]
- DeVries, T. J., K. A. Beauchemin, and M. A. G. von Keyserlingk. 2007. Dietary forage concentration affects the feed sorting behavior of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90:5572–5579.
- DeVries, T. J., Dohme, F. and Beauchemin, K. A. (2008). Repeated ruminal acidosis challenge in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: feed sorting. *Journal of Dairy Science*, vol. 91, ss. 3958-3967.

- eCow FarmBolus. (2018). *eBolus and Handset Research User Manual*. [Broschyr]. Exeter, GB: eCow FarmBolus. Tillgänglig: <https://www.ecow.co.uk/wp-content/uploads/2017/07/Research-User-Manual-2017-v7.pdf> [2018-10-15]
- Engstrand, U., Olsson, U. (2003). *Variansanalys och försöksplanering*. Lund. Studentlitteratur. ISBN: 91-44-03025-8.
- Falk, M., Münger, A., Dohme-Meier, F. (2016). Technical note: A comparison of reticular and ruminal pH monitored continuously with 2 measurement systems at different weeks of early lactation. *J. Dairy Sci.* 99, 1951–1955. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9725>.
- French, N., and J. J. Kennelly. (1990). Effects of feeding frequency on ruminal parameters, plasma insulin, milk yield, and milk composition in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 73:1857–1863.
- Garett, Nordlund, K.V, Godger, W.J, Oetzel, G.R. (1997). A cross-section field study investigating the effect of periparturient dietary management on ruminal pH in early lactation dairy cows.
- Goff, J.P., Horst, R.L. (1997). Physiological Changes at Parturition and Their Relationship to Metabolic Disorders. *J. Dairy Sci.* 80, 1260–1268. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76055-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76055-7).
- Greter, A.M., Leslie, K.E., Mason, G.J., McBride, B.W. & DeVries, T.J. (2010). Effect of feed delivery method on the behavior and growth of dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, vol. 93, ss. 1668-1676.
- Hamlett, A.C., Ryan, L., Wolfinger, R. (2004). 198-29: On the Use of PROC MIXED to Estimate Correlation in the Presence of Repeated Measures 7.
- Hungate, R.E. (1966). The Rumen Bacteria, in: *The Rumen and Its Microbes*. Elsevier, pp. 8–90. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-3308-6.50005-X>.
- Hulsen, J., Aerden, D. (2014). *Utfodringssignaler*. Nederländerna. Cow signals. ISBN: 978-90-8740-173-3.
- Kleen, J.L., Hooijer, G.A., Rehage, J., Noordhuizen, J.P.T.M. (2003). Subacute Ruminal Acidosis (SARA): a Review. *J. Vet. Med. Ser. A* 50, 406–414. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0442.2003.00569.x>.
- Kononoff, P.J., Heinrichs, A.J. (2003). The Effect of Reducing Alfalfa Haylage Particle Size on Cows in Early Lactation. *J. Dairy Sci.* 86, 1445–1457. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73728-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73728-X).
- Krause, K.M., Combs, D.K. (2003). Effects of Forage Particle Size, Forage Source, and Grain Fermentability on Performance and Ruminal pH in Midlactation Cows. *J. Dairy Sci.* 86, 1382–1397. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73722-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73722-9).
- Krause, K.M., Combs, D.K., Beauchemin, K.A. (2002). Effects of Forage Particle Size and Grain Fermentability in Midlactation Cows. II. Ruminal pH and Chewing Activity. *J. Dairy Sci.* 85, 1947–1957. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74271-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74271-9).
- Krause, K. M., and G. Oetzel. (2006). Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 126:215–236.
- Lantmännen. (2019a). *Konkret mega 28*. Tillgänglig: https://c4produktkatalog.lantmannen.se/index.php/component/virtuemart/?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl_mol&product_id=11675&category_id=9910 [2019-01-10]
- Lantmännen. (2019b). *Komplett fiber 170*. Tillgänglig: https://c4produktkatalog.lantmannen.se/index.php/component/virtuemart/?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl_mol&product_id=11647&category_id=9923 [2019-01-10]
- Maroune, M., Bartos, S. (1987). Interactions between rumen amylolytic and lactate-utilizing bacteria in growth on starch. *J. Appl. Bacteriol.* 63, 233–238. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1987.tb04941.x>.
- Martin, C., Devillard, E., Michalet-Doreau, B. (1999). Influence of sampling site on concentrations and carbohydrate-degrading enzyme activities of protozoa and bacteria in the rumen. *J. Anim. Sci.* 77, 979. <https://doi.org/10.2527/1999.774979x>.
- Mcdonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Morgan, L.A. Sinclair, R.G. Wilkinson. (2011). *Animal Nutrition*.
- Mertens, D.R., 2000. Physically effective NDF and its use in formulating dairy rations. Presented at the Florida Ruminant Nutrition Symposium, Florida.
- Mertens, D.R. (1997). Creating a System for Meeting the Fiber Requirements of Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1463–1481. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76075-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2).
- Mottram, T., Lowe, J., McGowan, M., Phillips, N. (2008). Technical note: A wireless telemetric method of monitoring clinical acidosis in dairy cows. *Comput. Electron. Agric.* 64, 45–48. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.05.015>.

- National Research Council (U.S.) (Ed.) (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th rev. ed. ed. National Academy Press, Washington, D.C.
- Neubauer, V., Humer, E., Kröger, I., Braid, T., Wagner, M., Zebeli, Q. (2018). Differences between pH of indwelling sensors and the pH of fluid and solid phase in the rumen of dairy cows fed varying concentrate levels. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 102, 343–349. <https://doi.org/10.1111/jpn.12675>.
- Nocek, J.E. (1997). Bovine Acidosis: Implications on Laminitis. *J. Dairy Sci.* 80, 1005–1028. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76026-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76026-0).
- Oltencu, P., Broom, D. (2010). The impact of genetic selection for increased milk yield on the welfare of dairy cows. *Anim. Welf.* 11.
- Owens, F.N., Secrist, D.S., Hill, W.J., Gill, D.R. (1998). Acidosis in cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 76, 275. <https://doi.org/10.2527/1998.761275x>.
- Penner, G.B., Beauchemin, K.A., Mutsvangwa, T. (2006). An Evaluation of the Accuracy and Precision of a Stand-Alone Submersible Continuous Ruminal pH Measurement System. *J. Dairy Sci.* 89, 2132–2140. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72284-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72284-6).
- Plaizier, J.C., Krause, D.O., Gozho, G.N., McBride, B.W. (2008). Subacute ruminal acidosis in dairy cows: The physiological causes, incidence and consequences. *Vet. J.* 176, 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.016>.
- Poppi, D.P., Ellis, W.C., Matis, J.H., Lascano, C.E. (2001). Marker concentration patterns of labelled leaf and stem particles in the rumen of cattle grazing bermuda grass (*Cynodon dactylon*) analysed by reference to a raft model. *Br. J. Nutr.* 85, 553. <https://doi.org/10.1079/BJN2001317>.
- Provenza, F. D. and Balph, D. F. (1987). Diet learning by domestic ruminants: theory, evidence and practical implications. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 18, ss. 211–232.
- Russell, J.B., Wilson, D.B. (1996). Why Are Ruminal Cellulolytic Bacteria Unable to Digest Cellulose at Low pH? *J. Dairy Sci.* 79, 1503–1509. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76510-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76510-4).
- Sveriges lantbruksuniversitet nationellt forskningscentrum för lantbruksdjur. (2017). *Resurser på SLU forskningscentrum Lövsta*. [Broschyr]. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet nationellt forskningscentrum för lantbruksdjur. Tillgänglig: <https://www.slu.se/globalassets/ew/org/andra-enh/vh/lovsta/dokument/resursbeskrivning-for-slu-lovsta-mars-2017-webb.pdf> [2018-11-03]
- SAS. (2018). *SAS/SHARE® 9.4: User's Guide*. Second Edition, 2018. 306. Tillgänglig: <http://support.sas.com/documentation/cdl/en/shrref/69819/HTML/default/viewer.htm#bookinfo.htm> [2019-01-14]
- Satter, L.D., Slyter, L.L. (1974). Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. *Br. J. Nutr.* 32, 199. <https://doi.org/10.1079/BJN19740073>.
- Schulze, A.K.S., Storm, A.C., Weisbjerg, M.R., Norgaard, P. (2017). Effects of forage neutral detergent fibre and time after feeding on medial and ventral rumen pH and volatile fatty acids concentration in heifers fed highly digestible grass/clover silages. *Anim. Prod. Sci.* 57, 129. <https://doi.org/10.1071/AN14261>.
- Sjaastad, Ø.V., Sand, O., Hove, K. (2016). *Physiology of Domestic Animals*. 3rd ed, 2016. Oslo.
- Stone, W.C., (1999). The effect of subclinical acidosis on milk components. In: *Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers*. Cornell Univ., Ithaca, NY, pp. 40–46.
- Stone, W. C. (2004). Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 87:E13–E26.
- Tafaj, M., Junck, B., Maulbetsch, A., Steingass, H., Piepho, H.-P., Drochner, W. (2004). Digesta characteristics of dorsal, middle and ventral rumen of cows fed with different hay qualities and concentrate levels. *Arch. Anim. Nutr.* 58, 325–342. <https://doi.org/10.1080/00039420412331273259>.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A. (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- Volden, H. (Ed.) (2011). *NorFor - The Nordic feed evaluation system, EAAP publication*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen.
- Växa Sverige (2019). *Handbok för skötare inom mjölkproduktion*.
- Växa Sverige. (2018). *Husdjursstatistik 2018*. [Broschyr]. Uppsala: Växa Sverige. Tillgänglig: <https://www.vxa.se/globalassets/dokument/statistik/husdjursstatistik-2018.pdf>.
- Wilkinson, J.M. (1996). *Feeding the Dairy Cow*. AT Chamberlain. Welton.

- Yang, W.Z., Beauchemin, K.A. (2007). Altering Physically Effective Fiber Intake Through Forage Proportion and Particle Length: Chewing and Ruminant pH. *J. Dairy Sci.* 90, 2826–2838. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0032>.
- Zebeli, Q., Aschenbach, J.R., Tafaj, M., Boguhn, J., Ametaj, B.N., Drochner, W. (2012). Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 95, 1041–1056. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4421>.
- Zebeli, Q., Dijkstra, J., Tafaj, M., Steingass, H., Ametaj, B.N., Drochner, W. (2008). Modeling the Adequacy of Dietary Fiber in Dairy Cows Based on the Responses of Ruminant pH and Milk Fat Production to Composition of the Diet. *J. Dairy Sci.* 91, 2046–2066. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0572>.